

MONOGRAFII DE TEHNICĂ

VI

TEHNICA MĂSURĂTORILOR ÎN CONSTRUCȚIILE MASIVE

DE

Ing. GHEORGHE RUSU

EDITURA ACADEMIEI REPUBLICII POPULARE ROMINE
1958

PREFATĂ

Economia și siguranța sînt cele două elemente fundamentale de care trebuie să se țină seama la proiectarea și construirea barajelor.

Un inginer constructor, cunoscător al teoriei, va trebui să facă numeroase ipoteze și să țină seamă de alte numeroase premise pentru a-și putea face calculele necesare. Ceva mai mult, procesul propriu-zis de construcție va depinde de multe necunoscute, care nu pot fi determinate prin metode de calcul. Numai observările și măsurătorile atît în timpul procesului de construcție, cît și pe construcția terminată și în curs de exploatare ne pot arăta care este situația reală. Datele practice vor completa în felul acesta în mod fericit calculele teoretice. Constatînd cum sînt efectiv solicitate materialele și diferitele elemente ale construcției, se vor putea determina cu precizie atît eficacitatea economică cît și siguranța construcției respective. Cît de importantă este siguranța barajelor, aceasta o dovedesc urmările catastrofale ale ruperii unui stăvilar în plină exploatare, pagubele materiale de milioane și deseori și victimele omenеști.

Așadar, autoritățile, care de obicei răspund și de latura financiară, vor urmări ca suprem imperativ cea mai mare eficacitate economică și cea mai mare siguranță. Mijloacele și metodele necesare pentru a obține aceste două elemente vor fi deci pentru autorități de cel mai mare interes.

Deseori, inginerul însărcinat cu tehnica observărilor și măsurărilor nu posedă cunoștințele de bază în legătură cu aparatele și metodele de măsurare, el nu știe cum să mînuiască dispozitivele să le îmbetoneze și apoi să valorifice și interpreteze rezultatele măsurărilor.

Se impune deci de a avea strînse la un loc datele necesare asupra metodelor, instrumentelor, aparatelor, dispozitivelor etc. de măsurare, precum și asupra felului de a le folosi cît mai bine. Este deci demnă de toată lauda și îmbucurătoare inițiativa ing. Gheorghe Rusu, care sprijinindu-se pe cartea

mea *) și-a asumat sarcina să pună la dispoziția inginerilor de specialitate din R.P.R. lucrarea sa care să-i familiarizeze cu acest domeniu special de tehnică a măsurării. Cartea va permite acestor tehnicieni să cunoască cât mai bine această specialitate și conține date prețioase care le vor ușura în mod simțitor sarcinile. Studiul acestei cărți le va fi de mare folos.

Zürich, noiembrie 1957

A.U. HUGGENBERGER

*) Talsperren-Messtechnik, Messverfahren, Instrumente und Apparate für die Prüfung der Bauwerke in Massenstein. J. Springer, Berlin, 1951.

INTRODUCERE

Ridicarea necontenită a nivelului calitativ al construcțiilor masive se realizează astăzi prin completarea calculului de rezistență și stabilitate cu cercetări experimentale de laborator pe modele și cu măsurători și observații pe construcțiile din natură, făcute cu ajutorul aparatelor de măsură și control de o înaltă tehnicitate.

Prin cercetările experimentale de laborator se reușește a se analiza atât deformațiile și solicitările executate asupra modelelor construcției, cât și obținerea datelor necesare în vederea calculului de rezistență și stabilitate al construcțiilor. Măsurătorile și observațiile executate pe construcțiile din natură atât în faza de execuție cât și în faza de exploatare permit verificarea calculelor efectuate la proiectare, justifică încercările și studiile de laborator prin care s-a putut preciza materialul și forma cea mai economică a construcției și permit totodată stabilirea coeficientului real de siguranță a lucrării, aceasta atât pentru securitatea publică cât și pentru cea economică.

Analizarea și interpretarea concomitentă a rezultatelor cercetărilor experimentale de laborator pe modele, cu rezultatele calculului de proiectare și cu rezultatele obținute în urma prelucrării măsurătorilor și observațiilor din natură constituie un material prețios pentru realizarea noilor construcții.

În lucrarea de față am încercat să expun într-o formă sistematică și cât mai completă posibil concepțiile actuale despre :

- principiile de execuție și funcționare a aparatelor de măsură și control ;
- modul de lucru cu aceste aparate în vederea stabilirii deformațiilor și eforturilor ;
- bazele teoriei și calculul pentru valorificarea și interpretarea măsurătorilor.

S-a avut în vedere ca expunerile teoretice să fie urmate de confirmări experimentale. Cititorul care dorește să-și facă o idee justă despre tehnica măsurătorilor în construcțiile masive trebuie să parcurgă întreaga lucrare, cu mențiunea că primele cinci capitole tratează problema observațiilor și măsurătorilor pe construcțiile din natură, iar capitolul al șaselea

se ocupă de cercetările experimentale de laborator pe construcțiile masive.

La redactarea lucrării m-am folosit de cartea *Talsperren-Mess-technik* de A. U. Huggenberger, de publicațiile de specialitate sovietice și ale celorlalte țări, precum și de experiența câștigată în laboratoarele de studii și cercetări din R. Cehoslovacă și pe șantierele de construcții hidro-tehnice ridicate în anii puterii populare cehoslovace.

Mulțumesc ing. Dr. A. U. Huggenberger atît pentru materialul pe care mi l-a pus la dispoziție cît și pentru sfaturile dezinteresate și îndrumările date la elaborarea acestei cărți, cu ocazia vizitei făcute în septembrie 1957 în țara noastră în scopul introducerii tehnicii măsurătorilor la baraje.

Cu toate străduințele depuse, cartea mai are desigur și lipsuri. Voi primi cu recunoștință completările necesare.

AUTORUL

CAPITOLUL I

CONSIDERAȚII GENERALE PRIVIND TEHNICA MĂSURĂTORILOR ÎN CONSTRUCȚIILE MASIVE

§ 1. NECESITATEA EXECUTĂRII MĂSURĂTORILOR DE DEFORMAȚII ȘI FACTORII CE TREBUIE DETERMINAȚI PRIN ACESTE MĂSURĂTORI

Betonul folosit la construirea barajelor, centralelor electrice, zidurilor de sprijin, ecluzelor, la perearea canalelor, la căptușirea tunelurilor etc. se va găsi și va lucra întotdeauna în condiții mai grele decît betonul din construcțiile civile, fiind supus unor acțiuni suplimentare fizico-mecanice și chimice care apar datorită atît masivității construcțiilor de acest gen, cît și faptului că acestea se găsesc în apă și nu în aer.

Astfel de lucrări sînt supuse în decursul timpului la solicitări și influențe repetate.

Cauzele care le produc sînt :

1) *Presiunea hidrostatică*, care variază în funcție de înălțimea nivelului apei.

2) *Variațiile de temperatură*, datorite

a) degajării de căldură cu ocazia prizei și întăririi betonului și provenită de la procesul de hidratare ;

b) temperaturii exterioare ;

c) temperaturii apei etc.

Toate acestea creează o stare termică care nu se poate studia teoretic decît într-un mod foarte schematic.

3) *Intemperiiile cu efectele lor* care se pot manifesta prin degradări supărătoare datorită înghețului și desghețului.

4) *Deformațiile de contracție*, a căror intensitate și dezvoltare depind de variațiile de temperatură și umiditate.

5) *Deformațiile de umflare* ale betonului.

6) *Deformațiile de curgere lentă* ale betonului, datorită proprietăților viscos-plastice ale pietrei de ciment.

7) *Deformațiile solului* în zona de așezare a barajului și a bazinului de acumulare.

8) *Subpresiunile.*

9) *Fisurile*, datorită influenței exotermiei betonului și a răcirii lente a blocurilor de beton, sau datorită coborîrii rapide a temperaturii exterioare, sau datorită legăturilor exterioare care împiedică dilatația liberă a blocurilor de beton.

10) *Influența chimică* a apelor agresive.

11) *Acțiunea de eroziune* a aluviunilor râurilor.

12) *Acțiunea de lovire și erodare* a ghețurilor și corpurilor plutitoare etc.

Ca urmare a acestor solicitări și influențe, betonul din construcțiile masive suferă avarieri, prin aceasta micșorându-i-se impermeabilitatea, durabilitatea și rezistența lui.

Distrugerea betonului masiv și ca urmare ruperea unor astfel de construcții (de exemplu barajele) pot cauza pierderi economice foarte mari, precum și pierderi ireparabile prin numeroase victime omenești.

Este suficient să amintim catastrofele provenite în urma prăbușirii barajelor de la Puente Veche (Spania), a celui din Alger, a barajului Saint-Francis (California) etc., în care și-au pierdut viața sute de oameni.

La prăbușirea barajului de la Gleno din anul 1923, cele șase milioane m^3 de apă reținută s-au scurs în 16 minute.

Această catastrofă a cauzat moartea a 600 oameni.

Exemplele de mai sus sînt suficiente pentru a se vedea importanța mare ce trebuie acordată studiului proiectării și executării unor astfel de construcții.

Calcularea și proiectarea construcției respective trebuie deci să corespundă principiilor de economie și siguranță.

Numeroasele simplificări și incertitudini folosite în diversele ipoteze necesare studiilor și calculelor trebuie înlocuite prin ipoteze care corespund cât mai bine condițiilor reale de lucru ale construcției executate.

Comportarea efectivă a construcției executate nu poate fi cercetată decât prin observări și măsurări minuțioase.

Observațiile și măsurătorile executate în construcțiile de beton, completate cu încercările efectuate în prealabil în laboratoarele de betoane masive, ne oferă imaginea clară a comportării betonului masiv și deci a construcției respective.

Prin măsurarea deformațiilor în construcțiile masive, se urmărește determinarea următorilor factori:

1) Deformațiile orizontale ale construcțiilor, adică încovoierile, deplasările, lunecările, rotirile etc.

2) Deformațiile verticale, adică tasările fundațiilor și ale construcțiilor.

3) Temperatura și deformațiile construcțiilor provocate de variațiile de temperatură.

4) Deformațiile interioare și eforturile corespunzătoare.

5) Deformațiile și rezistențele armăturii din construcțiile de beton armat.

6) Deformațiile produse prin infiltrațiile de apă și datorită subpresiunilor.

- 7) Deformațiile rosturilor de dilatație.
- 8) Deformațiile betonului prin fisurare.
- 9) Deformația suprafețelor construcției, înclinările, deformațiile și eforturile în plan etc.
- 10) Deformațiile de curgere lentă ale betonului.
- 11) Vibrațiile construcțiilor și în special ale vanelor etc.

1. Deformațiile orizontale ale construcțiilor

Aceste deformații se datoresc acțiunii forțelor orizontale. Atît timp cît se mențin în limite elastice deformațiile orizontale nu sînt periculoase.

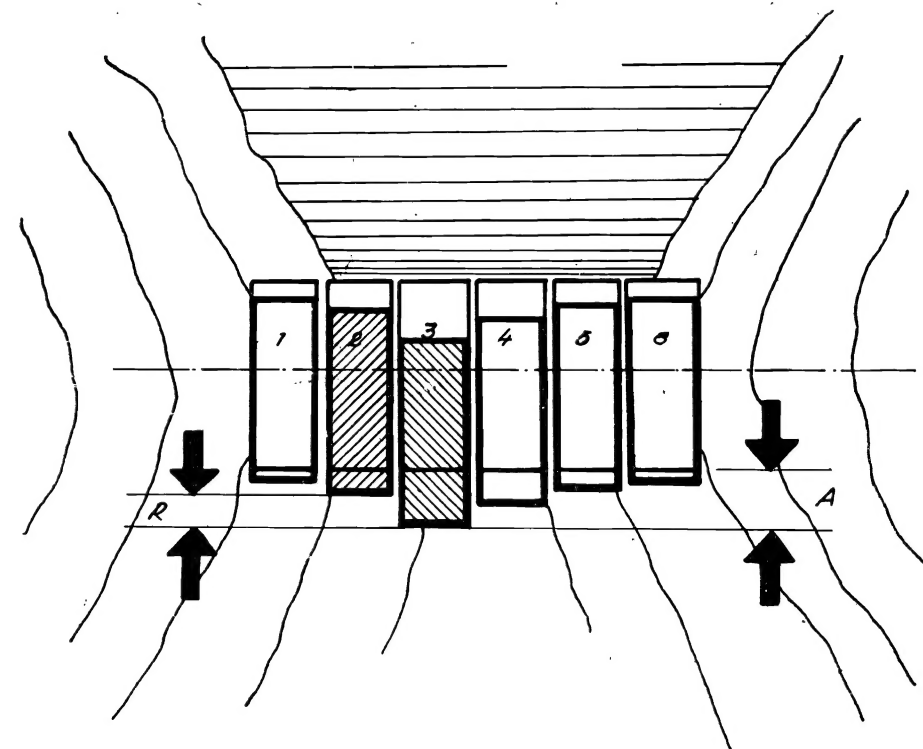


Fig. 1. — Deformațiile blocurilor barajului.
A — deformația absolută; R — deformația relativă.

Cînd depășesc aceste limite, pot produce deranjamente în buna funcționare a rosturilor de dilatație și a mecanismelor; de asemenea pot produce și fisuri în beton.

Deformațiile rezultate (de exemplu la un baraj) pot fi împărțite în
a) deformații absolute (A),
b) deformații relative (R) (fig. 1).

Deformațiile absolute se consideră acelea luate între poziția inițială a blocurilor și poziția finală a deplasării maxime realizate.

Deformațiile relative se consideră acele deformații luate între două blocuri deplasate (în cazul nostru între blocul 2 și 3).

Metodele folosite pentru determinarea deformațiilor și deplasărilor orizontale în diferitele puncte ale construcției sînt metodele geodezice (ca : aliniament, triangulație), metode pendulare etc.

2. Deformațiile verticale ale construcțiilor (tasările)

Aceste deformații sînt strîns legate de caracterul rocii de fundație, fiind mai mari pentru terenurile argiloase și mai mici pentru terenurile mai puțin compresibile.

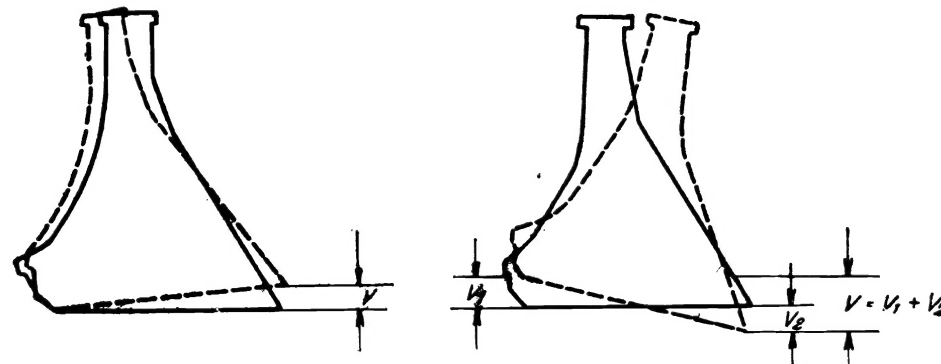


Fig. 2. — Poziția blocului de beton în urma tasărilor.

Tasările fundațiilor pot fi

- a) pozitive,
- b) negative.

Tasările pozitive sînt acelea datorită comprimării fundației, iar tasările negative sînt acelea datorită umflării fundației (exemplu la Svirstroi (U.R.S.S.), umflarea argilei a atins 13 cm).

Un exemplu de poziția pe care o are un bloc de beton în urma tasărilor este arătat în figura 2.

Dacă notăm tasările parțiale cu V_1 și V_2 , atunci tasarea totală va avea valoarea

$$V = V_1 + V_2. \quad (1)$$

Tasările construcțiilor sau ale unor părți din ele se măsoară de obicei cu ajutorul unui nivelment de precizie față de anumite repere introduse în construcție; de asemenea se mai utilizează diferite dispozitive speciale adecvate pentru acest scop.

3. Temperatura și deformațiile construcțiilor provocate de variațiile de temperatură

În betoanele masive, cu ocazia prizei și întăririi betonului, ca urmare a procesului de hidratare, are loc o creștere simțitoare a temperaturii pînă la 50°C, care scade în decurs de cîțiva ani.

La Dneprostroi (U.R.S.S.), aparatele au înregistrat o creștere de 20°C față de temperatura inițială, la Bleiloch temperatura s-a ridicat la 47°C.

Gradul de exotermie al cimentului joacă un rol foarte important, întrucît de acesta depinde intensitatea fenomenelor din beton legate de temperatură și tasări, fenomene care duc la formarea unor eforturi însemnate și la fisuri care distrug unitatea construcției.

Sub aprecierea acestor factori, adică neluarea la timp de măsuri pentru anihilarea urmărilor dăunătoare, pot duce la rezultate defavorabile datorită temperaturilor.

Temperaturile și variațiile de temperatură în masivele de beton se determină cu ajutorul diferitelor aparate, cele mai curențe fiind termometrele cu rezistență electrică.

4. Deformațiile interioare și eforturile corespunzătoare (tensiuni și compresuni)

Betonul este supus schimbărilor volumetrice, în funcție de variațiile de temperatură și de variația umidității, la fel ca și toate celelalte corpuri fizice. Aceste schimbări volumetrice influențează gradul de deformare al betonului și ca urmare variația eforturilor interioare.

Multe cercetări făcute la diferite lucrări masive au arătat că teoria clasică de calcul nu dă un tablou precis al alurei liniilor de efort din interiorul blocurilor de beton și mai ales în apropierea tălpilor de fundație.

Sînt căutate metode noi de calcul, care să fie cît mai apropiate de condițiile reale de lucru.

Numai cu ajutorul măsurătorilor executate în interiorul construcțiilor de beton ne putem da seama de repartitia sarcinilor și a eforturilor. De aceea, s-a căutat a se măsura direct în construcțiile de beton valoarea deformațiilor și a presiunilor.

Dezvoltarea tehnicii a permis construirea unor aparate pentru măsurarea precisă a deformațiilor și presiunilor în masivele de beton. Printre aparatele cele mai folosite sînt :

Telemetrele (tensometre electroacustice, teleformetre etc.) permit măsurarea deformațiilor din care se calculează variația eforturilor interioare.

Dinamometrele acustice, telepresmetrele etc. permit măsurarea directă a presiunilor atît la talpa fundațiilor cît și în restul de beton.

5. Deformațiile și rezistențele armăturii din construcțiile de beton armat

Aceste deformații se pot pune în evidență cu ajutorul tensometrelor pentru bare de armătură.

6. Deformațiile produse prin infiltrațiile de apă și datorită subpresiunilor

La contactul suprafeței betonului cu apa apar deformații volumetrice imediate. Deformațiile de umflare ale betonului sînt urmate de deformațiile de contracție, ce sînt funcție de gradul de uscare al betonului.

La betoanele masive contracția se produce într-un timp mai îndelungat, apărînd diferențe mari în comportarea materialului de la suprafață și din interior.

Prin crăpăturile și fisurile din fundație sau beton, apa pătrunde, se infiltrează și caută să ajungă pe cea mai ușoară cale la suprafața stîncii și în avalul barajului.

Infiltrațiile de apă pot duce la coroziunea fizico-chimică a betonului, care a fost cauza de distrugere a multor construcții masive.

Măsurarea subpresiunilor din rostul de fundație ale barajelor, este necesară pentru verificarea calculului static de stabilitate al construcției în care s-a ținut seama de subpresiune și a cărui acțiune este arătată în mod diferit de diferiți autori.

Deci, cunoașterea conținutului de apă în beton, adică cunoașterea variației gradului de uscare al betonului, a infiltrațiilor de apă, precum și a subpresiunilor, ne completează imaginea despre comportarea maselor de beton.

Printre aparatele folosite sînt telehumetre, umidimetre, tuburi piezometrice, piezometre electrice, vase de măsură etc.

7. Deformațiile rosturilor de dilatație

Datorită atît tasărilor neuniforme cît și variațiilor de temperatură interioară și exterioară, două blocuri de beton vecine se pot deplasa vertical unul față de altul, cu valoarea V , se pot înclina cu unghiurile α sau β și de asemenea se pot alungi sau contracta și deci și lățimea rostului de dilatație poate să varieze (fig. 3 a și b).

În figura 3 b se arată un exemplu al variației rostului de dilatație în timp de 5 luni.

Măsurarea rosturilor de dilatație se face cu ajutorul teledilatometrelor, micrometrelor de rost, scoabelor etc.

8. Deformațiile betonului prin fisurare

Fundațiile construcțiilor masive precum și betoanele masive prezintă crăpături și fisuri mai mari sau mai mici. Fisurile micșorează impermeabilitatea construcției și constituie totodată căi de distrugere a masivului de beton prin acțiunea apei sau a înghețului.

Neegalitatea temperaturilor din interiorul și exteriorul unui bloc de beton dă naștere la dilatații și tensiuni diferite.

În interior vor apare eforturi de compresiune, iar la suprafață forțe de tracțiune, care depășind de multe ori rezistența betonului la întindere

dau naștere la suprafața blocurilor unui număr mai mare sau mai mic de fisuri în funcție de cantitatea de beton.

Măsurarea și cunoașterea fisurilor completează imaginea asupra comportării construcției.

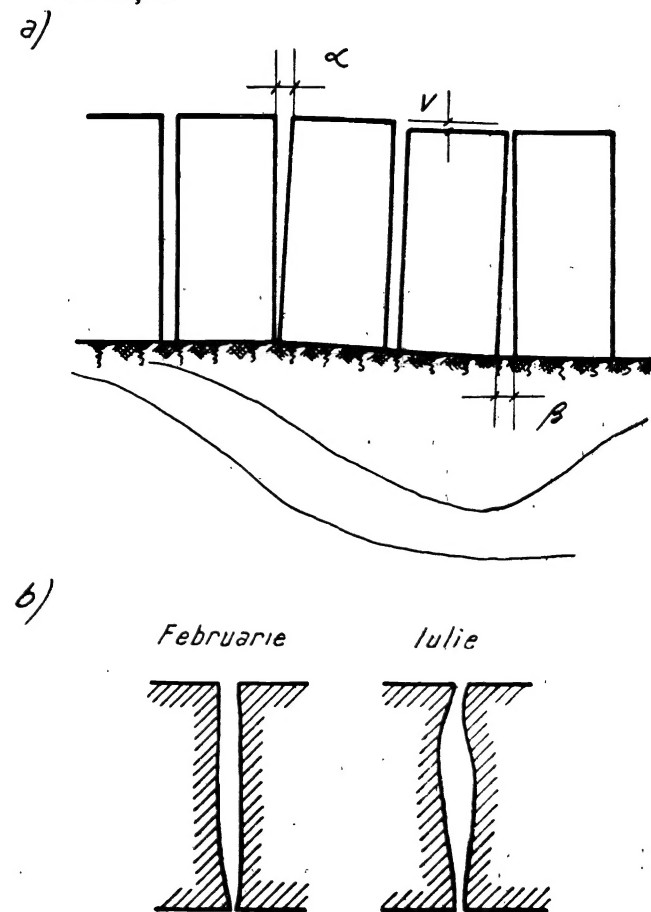


Fig. 3. — Deformațiile blocurilor barajului (situația în rosturile de dilatație).

Determinarea fisurilor se face cu ajutorul indicatorului de fisuri, a microcomparatoarelor, a undelor ultrasonore, a deformetrului etc.

9. Deformația suprafețelor construcției, înclinările, deformațiile și eforturile în plan etc.

Înclinarea suprafețelor construcției, datorită deformațiilor, se poate determina cu ajutorul clinometrului, care ne dă posibilitatea de a lămuri numeroase probleme de stabilitate.

Cu ajutorul deformetrului stabilim deplasarea dintre două puncte fixate pe o suprafață și, ca urmare, eforturile corespunzătoare.

10. Deformațiile de curgere lentă ale betonului

Ac acestea se datorează proprietăților viscos-plastice ale pietrei de ciment. Ele sînt provocate de sarcini permanente ce acționează într-un punct dat și se pot stabili prin observații și măsurări minuțioase.

11. Vibrațiile construcțiilor

Cunoașterea acestor vibrații este de mare importanță în procesul de exploatare.

★

În practică se obișnuiește a se măsura deformațiile pe cele trei axe de coordonate X , Y și Z .

De obicei, deformațiile rezultate pe direcția Y , paralelă axei barajului, sînt mai mici decît cele de pe verticală, adică după axa Z , care la rîndul lor sînt mai mici decît cele paralele direcției curentului de apă, adică după direcția X .

Totalitatea deformațiilor și a schimbărilor de poziție la o construcție de beton poate avea un caracter elastic sau plastic.

Un bloc de beton în urma deformațiilor poate să ia una din pozițiile 1, 2 sau 3 din figura 4.

Așadar deplasarea totală rezultată se compune dintr-o translație și o rotație (înclinare).

Dacă notăm cu A deplasarea unui punct al coronamentului, rezultată în urma efectuării a două aliniamente, și cu N deplasarea datorită înclinării blocului determinată cu ajutorul instalațiilor pendulare sau a clinometrului (cap. II, A, B și D), atunci deplasarea totală D a blocului va fi

$$D = A - N. \quad (2)$$

Toate aceste fenomene descrise, inerente lucrărilor masive de beton, pot fi puse în evidență datorită tehnicii măsurătorilor de deformații, prin observații și măsurători efectuate atît în fundațiile construcțiilor, cît și în interiorul și exteriorul acestor construcții.

Cercetările și observațiile de control trebuie începute o dată cu lucrările construcției și continuate apoi și în procesul de exploatare.

Se va da o atenție deosebită înregistrării tuturor fenomenelor de deformare atît din faza lucrărilor pregătitoare construcției cît și din faza de betonare, adică în procesul de execuție, cît și în procesul de exploatare a lucrării.

§ 2. SCOPURILE EXECUTĂRII MĂSURĂTORILOR DE DEFORMAȚII

Executarea observațiilor și măsurătorilor în construcțiile masive are următoarele scopuri:

1) Verificarea legilor fizice, atît pentru verificări științifice, cît și pentru confirmarea și completarea teoriei spre a îmbogăți cu noi studii tehnica măsurătorilor de deformații.

2) Punerea sub sarcină a lucrării, comportarea construcției în timp, adică cunoașterea modului ei de lucru necesară atît pentru întreținerea în stare bună de funcționare a construcției cît și pentru luarea de măsuri în caz de pericol (schimbări ale formei, fisuri mari, tasări, avarieri etc.) aceasta pentru a se evita sau cel puțin limita efectele lor.

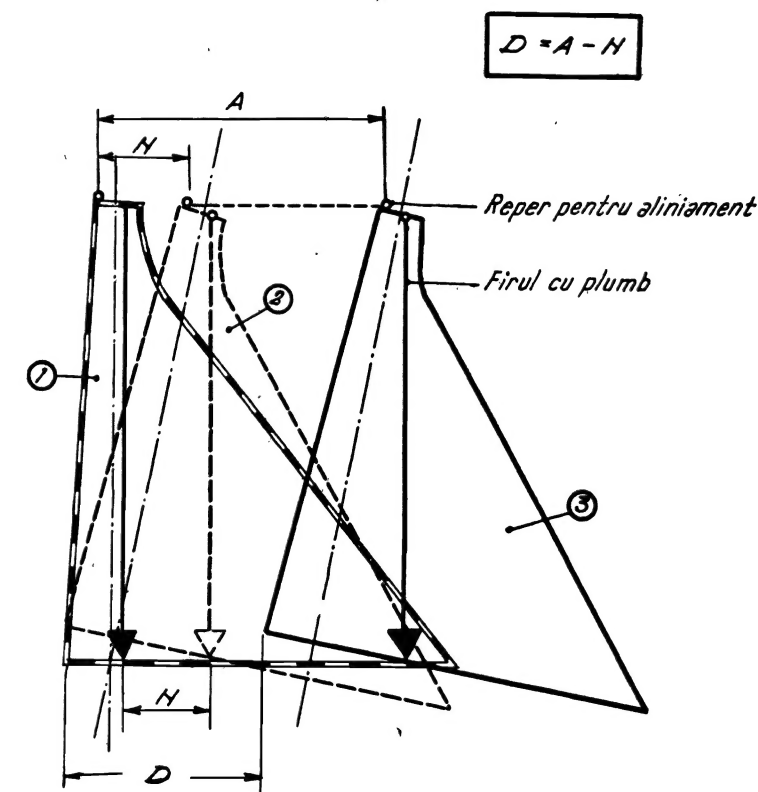


Fig. 4. — Calculul deplasării D a unui bloc de beton.

3) Aprofundarea cercetărilor și acumularea de experiență pentru lucrările masive viitoare.

Masele mari de beton dintr-o construcție masivă, încărcările mari, condițiile complicate din roca de fundație, acțiunea solicitărilor și a influențelor repetate în decursul timpului (p. 9 și 10) cer un control permanent al construcției pe baza executării sistematice a măsurătorilor conform scopului urmărit.

Trebuie comparate și controlate schimbările liniare, de volum, de temperatură, de contracție, de umflare, de tasare etc., atît parțial cît și total.

Cu ajutorul comparației între valoarea măsurată și valoarea reieșită din calculul static în urma diferitelor ipoteze făcute sau a rezultatelor obținute prin experiența pe care o avem de la alte construcții vrem să constatăm următoarele:

- a) dacă deformațiile construcției merg spre liniștire, dacă lucrarea trece în stare de echilibru interior;
- b) cum corespund ipotezele folosite în calculul static la condițiile reale de lucru ale construcției.

Cunoscând aceste date, putem deduce un rezultat în ceea ce privește coeficientul final de siguranță al construcției, eventual necesitatea de a face anumite modificări pentru siguranța lucrării.

În vederea îmbunătățirii pe viitor, atât a studiului de proiectare (planuri, calcule statice etc.), cât și a executării construcțiilor masive, aceste rezultate ale măsurătorilor ne dau posibilitatea de a preciza mai bine ipotezele pe care le facem în vederea efectuării calculului static și a executării construcției. Observațiile și măsurătorile trebuie executate astfel încât fiecare mărime măsurată să poată fi obținută prin două metode diferite.

§ 3. METODE DE OBSERVAȚIE ȘI CERCETARE, APARATE ȘI DISPOZITIVE DE CONTROL FOLOSITE ÎN TEHNICA MĂSURĂTORILOR

Dezvoltarea tehnicii a creat posibilitatea de-a se observa și examina modul de lucru al construcțiilor masive, aceasta atât în natură, pe construcția reală, cât și în laboratoare, pe modele.

În acest scop se folosesc următoarele metode de observație și cercetare:

Măsurători geodezice:

- a) de triangulație,
- b) de aliniament,
- c) de nivelment.

Măsurători pendulare în puțuri.

Măsurători de deformație în interiorul betonului.

Măsurarea temperaturilor.

Măsurarea presiunilor.

Măsurarea subpresiunilor.

Măsurarea infiltrațiilor și a conținutului de apă în beton.

Măsurarea rosturilor de dilatație.

Măsurarea tasărilor.

Măsurarea fisurilor.

Măsurarea înclinărilor.

Măsurători hidraulice.

Măsurarea deformațiilor suprafețelor.

Luarea de probe: (carote prin forare, epruvete din masivul de beton etc.) pentru determinarea proprietăților mecanice, de rezistență, de capacitate și de deformare.

Măsurători radiale în galeriile sub presiune.

Măsurători cu ajutorul undelor ultrasonore.

Măsurători de deformații și eforturi pe modele.

Fotoelasticimetria.

Metoda lacurilor — indicatoare de tensiuni.

1. Clasificarea metodelor

Până în prezent s-au imaginat mai multe sisteme de clasificare a metodelor de cercetare și observație.

Astfel au apărut clasificări în funcție de:

- 1) felul deformațiilor;
- 2) felul aparatelor;
- 3) locul pe care îl ocupă aparatele în timpul cercetării etc.

În studiul de față se adoptă clasificarea în funcție de locul pe care îl ocupă aparatele în timpul cercetării.

Sub acest aspect avem:

a) Metode de cercetare din exteriorul construcției ca:

- măsurători geodezice;
- măsurători pendulare în puțuri;
- măsurarea rosturilor de dilatație;
- măsurarea tasărilor;
- măsurarea fisurilor;
- măsurarea înclinărilor;
- măsurarea deformațiilor și eforturilor suprafețelor.

b) Metode de cercetare din interiorul construcției ca:

- măsurarea temperaturilor;
- măsurarea deformațiilor și eforturilor interioare;
- măsurarea presiunilor;
- măsurători cu ajutorul undelor ultrasonore.

Măsurătorile destinate studiului acțiunii apei asupra construcțiilor ocupă în această lucrare o parte separată cuprinzând:

- măsurători hidraulice;
- măsurarea conținutului de apă în beton;
- măsurarea infiltrațiilor;
- măsurarea subpresiunilor.

Studiile și cercetările ce se fac în cadrul laboratorului pe construcțiile masive formează de asemenea un capitol special cuprinzând:

- măsurători de deformații și eforturi pe modele;
- fotoelasticimetria;
- metoda lacurilor — indicatoare de tensiuni.

2. Aparatele și dispozitivele de control. Întrebuințarea lor

Pentru determinarea deformațiilor și deplasărilor se folosesc o serie de aparate și dispozitive de control și anume:

Teodolitele de precizie, nivelele de precizie, microlinometrul Dorohov	se folosesc pentru măsurători geodezice (triangulație, aliniament și nivelment).
Coordimetrul Huggenberger, pendulul simplu, pendulul invers cu plutitor, pendulul diferențial, coordiscopul	permit observarea deplasărilor orizontale ale axei verticale, curba de încovolare a profilului, deplasările rocii de fundație, precum și deplasările verticale.
Teleformetrele, telohmetrele, tensometrele electroacustice, frecventmetrele, telecalibratoarele	permit determinarea deformațiilor și temperaturilor în interiorul masivelor de beton.
Termometrele cu rezistență electrică	permit determinarea variației de temperatură în masivele de beton.
Telepresmetrele, dinamometrele	permit determinarea directă a presiunilor în beton și pe roca de fundație.
Hidrometrele, piezometrele, telehumetrele, umidimetrele, limnigrafele	permit determinarea subpresiunilor, infiltrațiilor de apă, conținutului de apă în beton și a nivelurilor de apă din bazinul de acumulare.
Teledilatometrele, dilatometrele, micrometrul de rost	permit măsurarea rosturilor de dilatație
Balanța hidrostatică	permite măsurarea tasărilor.
Microcomparatoarele, indicatoarele de fisuri	permit măsurarea fisurilor.
Clinometrele și fleximetrele	permit măsurarea înclinărilor și a încovoielilor.
Deformetrele, extensometrele mecanice, acustice, electrice etc., tensotastele, mărcile electrice	permit măsurarea deformației suprafețelor.
Verificatorul de galerie	permite măsurarea deformațiilor radiale în galeriile subpresiune.
Receptoarele și emițătoarele de ultrasunete	permit determinarea fisurilor mici, rezistența redusă a betonului, modulul de elasticitate etc.
Fotoelasticimetrele	permit indentificarea izoclinelor și izocromatecelor cu ajutorul cărora se trece la calcularea eforturilor.

La rândul lor, aparatele de măsură și control pot fi și ele clasificate după diferite criterii.

După natura mărimilor care se măsoară, avem:

- aparate pentru măsurarea deplasărilor,
- aparate pentru măsurarea temperaturilor,
- aparate pentru măsurarea deformațiilor interioare,
- aparate pentru măsurarea presiunilor etc.

Clasificarea aparatelor din acest punct de vedere, adică după natura mărimilor care se măsoară, este o clasificare de bază și de care în cuprinsul cărții s-a ținut seama. Ca o completare a acestei clasificări, aparatele de măsurat mai pot fi împărțite în următoarele grupe:

După destinația lor avem:

- aparate de exploatare,
- aparate de laborator,
- aparate de verificare.

După principiul de funcționare avem:

- aparate mecanice,
- aparate electrice,
- aparate hidraulice,
- aparate acustice,
- aparate pneumatice.

După condițiile de lucru avem:

- aparate staționare,
- aparate transportabile.

După locul de instalare avem:

- aparate locale,
- aparate cu transmiterea la distanță a indicației.

După caracterul indicației avem:

- aparate indicatoare,
- aparate înregistratoare.

Aproape fiecare aparat pentru măsurători de deformații poate fi cuprins în una din grupe și metode de lucru specificate mai sus. De exemplu: tensometrele cu fir rezistiv sînt: aparate de exploatare, electrice, staționare, cu transmitere la distanță a indicației și se clasează în metodele de cercetare din interiorul construcțiilor.

§ 4. MODUL DE LUCRU ÎN TEHNICA MĂSURĂTORILOR DE DEFORMAȚII

Tehnica măsurătorilor de deformații și controlul construcțiilor masive cu ajutorul aparatelor de precizie prezintă două aspecte: aspectul de institut, adică lucrări ce sînt efectuate în cadrul institutului și aspectul de șantier, adică lucrări ce sînt executate pe șantier.

Lucrări efectuate în cadrul institutului. Institutului căruia îi revine sarcina de a efectua măsurători de deformări și de a controla cu ajutorul aparatelor de precizie lucrările masive ca: barajele de pământ, de anrocamente, de beton, tunelele (galerii subpresiune), centralele hidroelectrice, ecluzele, zidurile de sprijin, cheiurile, castelele de apă etc. are următoarele sarcini:

- a) Controlul și recepționarea aparatelor.
 - b) Verificarea și etalonarea aparatelor.
 - c) Proiectarea și fixarea poziției ocupate de aparate prin
 - proiecte tehnice,
 - proiecte de execuție.
 - d) Pregătirea pentru șantier a instrucțiunilor privind
 - întreținerea aparatelor,
 - manipularea aparatelor,
 - montarea și îmbetonarea aparatelor,
 - programul măsurătorilor,
 - formulare pentru înregistrarea datelor pe specific de măsurători.
 - e) Controlul execuției lucrărilor (îmbetonarea instrumentelor de precizie, înregistrarea lor etc.).
 - f) Calificarea cadrelor destinate să activeze în tehnica măsurătorilor de deformări.
 - g) Efectuarea primelor măsurători.
 - h) Prelucrarea și interpretarea științifică a datelor.
 - i) Întocmirea de documentații și studii în urma rezultatelor obținute.
 - j) Efectuarea de noi studii și cercetări pentru a îmbogăți cu noi cunoștințe tehnica măsurătorilor de deformări.
 - l) Elaborarea unui regulament tip pentru înființarea pe șantier a unor servicii (grupe de măsurători) pentru cercetarea construcțiilor masive.
 - m) Publicații.
- Lucrări efectuate pe șantier.* Printre sarcinile principale ce revin șantierului sînt:
- a) Preluarea și examinarea aparaturii.
 - b) Depozitarea și întreținerea aparaturii.
 - c) Pregătirea pentru lucru (vulcanizarea conductelor de cablu, pregătirea cofrajelor, suporturi, repere, curățire, înregistrare etc.).
 - d) Îmbetonarea și montarea aparatelor.
 - e) Efectuarea măsurătorilor.
 - f) Interpretarea rezultatelor obținute cu aparate simple.
 - g) Centralizarea datelor obținute și informarea institutului și organelor interesate.
 - h) Îngrijirea aparaturii și instalațiilor executate.

§ 5. PERSONALUL TEHNIC NECESAR EXECUTĂRII MĂSURĂTORILOR DE DEFORMAȚII ÎN CONSTRUCȚIILE MASIVE

Personalul tehnic necesar executării măsurătorilor de deformări, se împarte în:

- 1) personal tehnic destinat să execute lucrări în cadrul institutului;
- 2) personal tehnic necesar să execute lucrări pe șantier.

Numărul de tehnicieni atît într-o grupă cît și cealaltă depinde de mai mulți factori ca:

- a) numărul de lucrări masive în execuție;
- b) faza de lucru în care se găsește construcția masivă;
- c) personalul tehnic specializat în această direcție;
- d) numărul de aparate de care se dispune etc.

1) În cazul că nu există un institut întreg care să se ocupe exclusiv de aceste probleme, atunci în cadrul unui institut de studii și proiectări se înființează în mod special un serviciu pentru aceste probleme.

Conducerea serviciului se încredințează unui specialist în tehnica măsurătorilor de deformări, iar în cazul că nu există, unui inginer care să simtă că are atracție pentru acest fel de lucrări.

Serviciul se mai completează cu

- unu sau doi ingineri constructori-hidrotehnicieni
- un inginer electrotehnician
- unu sau doi tehnicieni
- un desenator
- o dactilografă.

2) Grupa de măsurători de pe șantier este condusă de un inginer ajutat de tehnicieni responsabili pe probleme. În funcție de numărul de aparate instalate și de programul măsurătorilor, se aleg tehnicieni care se ocupă de una sau mai multe probleme ca:

măsurători tensometrice, geodezice, pendulare, de infiltrare, de subpresiune, de tasare, de fisuri, de rosturi de dilatație etc.

Acești responsabili supraveghează îmbetonarea aparatelor, execută observațiile și măsurătorile pe care apoi le notează în procesele-verbale.

Lucrările de îmbetonare, cofrare, amenajarea stațiilor provizorii și definitive de măsurare, canale de cabluri etc. se execută de muncitori sub conducerea șefului de echipă.

Colectivul, care se ocupă cu efectuarea măsurătorilor de pe șantier, se mai completează cu un electrician, care va răspunde de buna funcționare a aparatelor electrice de măsurare.

Grupa de măsurători de pe șantier depinde direct de serviciul sau institutul care are răspunderea acestor lucrări. Ea trebuie să lucreze în deplină înțelegere cu conducerea șantierului, știut fiind că numai acolo unde conducerea șantierului înțelege importanța măsurătorilor și dă toată atenția, sprijinind aceste lucrări, se pot obține observații și date prețioase care sînt de o importanță fundamentală pentru economia, siguranța și exploatarea construcției.

Primele măsurători sînt efectuate de către serviciul sau institutul respectiv, apoi continuate de grupa de măsurători de pe șantier, ce le face cunoscute bilunar serviciului sau institutului.

Serviciul, sau institutul în cazul cînd există, centralizează datele măsurătorilor pe lucrări, le transpune în grafice și diagrame și le interpretează.

Totodată aduce la cunoștința organelor de stat interesate rezultatele obținute.

Proiectantul principal al lucrării respective are datoria să înștiințeze, în scris, serviciul sau institutul destinat a se ocupa de tehnica măsurătorilor de deformatii asupra :

- a) procedului preconizat de funcționare a construcției;
- b) manipulării debitelor și nivelelor de apă;
- c) cerințelor pentru măsurarea pe durată lungă;
- d) limitelor admisibile de deformatie a construcției, fixate prin proiectare.

Totodată pentru buna desfășurare a lucrărilor, proiectantul principal va pune la dispoziția institutului sau serviciului un anteproiect, un proiect tehnic și un proiect de execuție privind lucrarea respectivă.

În vederea punerii lucrării sub sarcină, de exemplu la ridicarea nivelului de apă în lacul de acumulare al unui baraj, se procedează în modul următor :

La o perioadă de timp bine definită, de exemplu din două în două luni sau din trei în trei luni, se formează o comisie compusă din :

- 1) delegatul ministerului pentru lucrarea respectivă;
- 2) specialistul în măsurătorile de deformatii;
- 3) proiectantul șef al lucrării;
- 4) inginerul șef executantului lucrării;
- 5) inginerul de șantier, care a efectuat măsurătorile.

Această comisie are rolul de a discuta, pe baza măsurătorilor executate și a graficelor din diagrame modul de lucru al barajului în perioada de timp fixată. Dacă deformatiile măsurate și calculate sînt în limitele admisibile, se decide urcarea cu încă 2 m a nivelului apei din lacul de acumulare. În caz contrar, se iau măsurile de siguranță necesare și se continuă lucrarea.

Astfel se procedează pînă la punerea completă a lucrării respective sub sarcină. Studiile nu se termină aici, ci se continuă pentru a se vedea comportarea lucrării în timp.

§ 6. DEZVOLTAREA TEHNICII MĂSURĂTORILOR DE DEFORMAȚII

În Uniunea Sovietică marile lucrări masive, ridicate după Marea Revoluție Socialistă, au dus la necesitatea de a se organiza observații și măsurători de deformatii și control.

În prezent, în Uniunea Sovietică nu există nici o construcție masivă, asupra căreia să nu se fi făcut cercetări, observații și studii privind comportarea lor.

Astfel A. A. Unghecius și colaboratorii arată că din acest punct de vedere Uniunea Sovietică a depășit țările capitaliste, unde orga-

nizarea unor astfel de lucrări în condițiile economiei capitaliste este foarte dificilă, în multe cazuri chiar imposibilă.

Primele mari lucrări de acest gen s-au organizat la Dnieprostroi, apoi la Volgostroi, Svirstroi, hidrocentrala Nivsk, Dzorages, Zagres, precum și la alte construcții masive.

Lucrări mari de observații și măsurători de deformatii au fost de asemenea întreprinse la construcția canalului navigabil M. Albă—M. Baltică.

Studiile și cercetările au luat însă un caracter imens la construcția canalului Moscova, de asemenea și la marile construcții ridicate pe Volga (Volgostroi), barajele de la Scerbakov, Ivankovo și Uglici etc.

La aceste construcții au fost organizate sectoare speciale cu sarcina de a efectua observații asupra comportării construcțiilor masive chiar din perioada construirii lor, observații care au fost continuate și după terminarea construcțiilor, de către Direcția de exploatare M.R.F.

Construcțiile mari ca barajul de la Tîmliansk, cit și ecluzele navigabile de pe Don, sînt utilate cu aparatură de măsură și dispozitive de control.

În prezent se fac lucrări pregătitoare pentru îmbetonarea aparatului necesare în construcțiile nodurilor hidraulice de la Kuibîșev*) și Stalingrad, precum și în construcția barajului de la Kahovka pe Nipru.

Aparatura folosită este cea rezultată în urma îndelungatei experiențe căpătate în construcțiile masive din Uniunea Sovietică.

Aparate foarte perfecte au fost construite între anii 1926 și 1934 de prof. N. N. Davidenkov, împreună cu un colectiv din Institutul de construcții și unul din Institutul de fizică tehnică din Leningrad.

Tensometrele electroacustice sistem Davidenkov au fost instalate pentru prima dată la Dnieprostroi și au dat rezultate bune.

Pe baza principiului coardelor vibrante s-au construit în ultimul timp o serie de diferite aparate. Dintre aceste aparate trebuie semnalate dinamometrul acustic pentru determinarea rezistențelor în terenuri, precum și extensometrul cu coardă construit de ing. M. M. Dorohov.

Microinometrul Dorohov este folosit cu bune rezultate pentru determinarea deplasărilor unui punct în plan orizontal.

În școlile superioare de specialitate din Uniunea Sovietică se predau cursuri speciale privind tehnica măsurătorilor de deformatii.

În Statele Unite ale Americii, determinarea deformatiilor și eforturilor interioare, au început cu telemetre cu pastile de cărbune îmbetonate la barajele Stewenson Creek și Gibson. Instrumentele n-au corespuns și după 10—15 ani, adică în jurul anului 1920 *The Bureau of Reclamations*, în urma studiilor îndelungate, au înlocuit telemetrele cu cărbune cu teleformetrele rezistive ale lui Carlson elastic-wire strain-meter.

În decursul timpului și aceste aparate au suferit o serie de modificări, astfel că s-a ajuns la înlocuirea lui Carlson elastic-wire strain-meter, care se compunea din trei bobine din fir metalic pus sub o singură tensiune și montat pe un cadru special cu un nou tip a lui Carlson, dar acest teleformetru are două bobine din coardă de pian de 5/100 mm. Sensibilitatea este de 1/2 micron pe metru.

*) Barajul de la Kuibîșev a fost dat deja în exploatare.

Acest tip a fost îmbetonat la Grand Coulee, care este în funcțiune de peste 25 ani, și se comportă bine.

Prin perfecționarea tehnicii deformațiilor, s-au dezvoltat o serie de aparate pentru stabilirea deformațiilor și eforturilor astfel că cele mai recente baraje americane construite ca: Norris, Hiwassee, Shasta și Fontana etc. au fost prevăzute cu o serie de aparate de înaltă precizie.

În Elveția, toate marile baraje au fost construite după anul 1914. La această dată în literatura de specialitate erau foarte puține informații tehnice asupra măsurătorilor de control.

Astfel încât constructorilor elvețieni le revine un mare merit în dezvoltarea tehnicii măsurătorilor de observații și control la lucrările masive.

Primele măsurători au fost făcute asupra barajelor în arc Montsalvens și Pfaffensprung. Rezultatele obținute au fost precise ceea ce a determinat extinderea studiilor de cercetare și observare și asupra barajelor de greutate ca, Barberine, Rempen, Schräb, Garichte, In den Schlagen etc. precum și la barajele cu pile ca Dixence etc.

La barajele în arc s-au executat pentru prima dată, măsurători de deformații legate de măsurători de temperatură. Măsurătorile de temperatură au fost executate cu termometre rezistive ale prof. Dr. J o y e.

Mișcările barajelor (deplasările) au fost urmărite geodezie prin ridicări trigonometrice. Înclinările au fost studiate cu ajutorul clinometrelor, riglei Juillard, instalațiilor pendulare etc.

Deformațiile interioare au fost puse în evidență cu ajutorul tensometrelor, fie cu fir rezistiv sau cu coardă.

Prelucrarea științifică a măsurătorilor precum și interpretarea rezultatelor a fost făcută de către o comisie special creată. Pentru studierea științifică a altor observații Comisia marilor baraje a instaurat un comitet restrâns condus de prof. Dr. ing. M. R o ș.

La toate congresele marilor baraje, începând cu cel din Stockholm din anul 1933 și terminând cu cel din Paris 1955, inginerii elvețieni au adus un aport serios la adâncirea și dezvoltarea tehnicii măsurătorilor de deformații.

Totodată a luat o mare dezvoltare și tehnica confecționării aparatelor de precizie. Printre cele mai specializate firme este și firma Huggenberger de instrumente fizice, Zürich.

În Franța de asemenea problema măsurătorilor de deformații a fost privită cu multă seriozitate. În anul 1932 s-a creat un serviciu special de control al marilor baraje. În prezent acest serviciu a fost integrat în activitatea Laboratorului central de hidraulică Paris, unde își continuă activitatea ca un sector special.

După înființarea sa acest organism a efectuat o serie de măsurători pe diferite baraje ca: Marèges, Eguzon, Ban-de-Champagney, Guerlédan, Sarrans etc., dând indicații foarte prețioase.

Inginerii francezi și-au creat aparate proprii pentru studiul deformațiilor. Prof. M. C o y n e a imaginat tensometrul cu coardă (temoins sonores) care datorită preciziei ce o oferă a obținut o largă aplicabilitate atât în Franța cât și în străinătate. Sensibilitatea aparatului este de un micron pe metru.

Acest aparat se pretează de asemenea la montări speciale, astfel a fost folosit pentru stabilirea variațiilor diametrului unei conducte forțate de la centrala hidroelectrică l'Aigle.

Prof. M. Juillard a imaginat rigla clinometrică și pendulul Juillard, folosit pentru prima oară la barajul Sautet.

La cunoașterea aparaturii franceze a contribuit în mare măsură și „expozițiile anuale de instrumente și materiale științifice a societății franceze de fizică”.

La aceste expoziții pe lângă aparatura franceză au fost expuse de asemenea aparatură străină a Marii Britanii, Italiei, Germaniei, Elveției, a Statelor Unite ale Americii etc., în care țări găsim de asemenea dezvoltată tehnica măsurătorilor de deformații.

În Republica Cehoslovacă, tehnica măsurătorilor de deformații în construcțiile masive se găsește la o stare de maturitate.

Republica Cehoslovacă a fost prezentată la congresul marilor baraje de la Stockholm din anul 1948, unde specialiștii cehoslovaci au expus un studiu asupra metodelor și instrumentelor de cercetare din tehnica măsurătorilor de eforturi și deformații la barajele de greutate din beton.

Prof. K. L o s s m a n n a vorbit despre studiul, observațiile și măsurătorile efectuate la barajul de la Vranov, amplasat pe râul Dyje și la barajul Kninicky, amplasat lângă Brno, pe râul Svratka.

Alți specialiști, ca: ing. Vilibald Bezdiček, prof. Stanislav Kratochvil, prof. Alois Mislivec au tratat probleme legate de studiul infiltrațiilor prin barajele de pământ, studiul subpresiunilor etc.

Marile lucrări masive ridicate în anii puterii populare cehoslovace ca barajul de la Orava, amplasat pe râul cu același nume și terminat în 1953, barajul de la Krušberk amplasat pe Moravice, nodurile hidraulice de pe râul Vah de la Nosice denumit și șantierul tineretului, Kostolna, N. Mesto și S. Hora, barajul de la Dobšina, din Slovacia, barajul de la Lipno și Slapy, amplasate pe Vltava, barajul de la Kličeava, amplasat pe râul cu același nume, barajul Vir, amplasat pe Svratka etc., sînt înzestrate cu aparate de măsură și dispozitive de control.

La toate aceste lucrări masive, se fac observații și măsurători chiar de la începutul lucrărilor.

Industria de aparate de precizie a luat un avînt foarte mare. Întreprinderi de stat ca Metra-Frič scot în serie tensometre electroacustice, dilatometre, pendule simple, pendule inverse cu plutitor, pendule diferențiale, manometre, aparate receptoare, punți de măsurare etc.

Aparatele de import sînt înlocuite în majoritatea lucrărilor cu aparate indigene.

Tensometrele electroacustice sistem Metra-Frič au dat bune rezultate la barajele de la Slapy, Vir Krušberk etc.

Barajele de la Nosice și Orava au fost înzestrate și cu aparatură străină ca: teleformetre și coordimetre Huggenberger etc.

Pe fiecare șantier sînt organizate sectoare de lucru conduse de către un inginer, care se ocupă cu problema măsurătorilor și controlul lucrărilor cu ajutorul aparatelor de măsură.

Datele și rezultatele obținute pe șantiere se centralizează de către *Ústav stavebných hmôt a Konštrukci skupina vodné stavby* — întreprindere de stat — unde se face proiectarea, controlul, prelucrarea și interpretarea rezultatelor efectuate cu ajutorul aparatelor de precizie.

Aceste întreprinderi de stat se găsesc în Praga, Brno și Bratislava și se ocupă de acele lucrări masive care sînt în zona lor de activitate.

Specialiștii cehi ca: Dr. ing. Mejlík și ing. Čermák la Brno, ing. Miloš Petřík și ing. Kounovský la Praga etc., care lucrează în aceste institute la proiecte tehnice și de execuție privind amplasarea acestor aparate, la prelucrarea și interpretarea rezultatelor, la controlul comportării lucrărilor masive, puse sub sarcină, au mărit și dezvoltat sfera cunoștințelor în tehnica măsurătorilor de deformații.

În facultățile de specialitate, profesorii Ježdík, Malý, Čach etc. predau studenților tehnica măsurătorilor de deformații.

În Republica Populară Română, marile lucrări masive prevăzute în planul de electrificare a țării impun folosirea aparatelor de măsură și control în interiorul masivelor de beton.

Ținînd seama de lipsa de aparatură de precizie necesară pentru aceste studii, Institutul de studii și proiectări energetice din cadrul Departamentului energetic în colaborare cu Institutul de fizică al Academiei R.P.R. și-au pus problema rezolvării și confecționării în țară a acestor aparate. Astfel, au fost scoase în serie termometre electrice pentru determinarea variației temperaturilor în interiorul masivelor de beton.

La încercările făcute cu aceste aparate, rezultatele obținute au fost cele așteptate.

Pe lângă termometre electrice, s-au fabricat și sînt în curs de definitivare, tensometre electroacustice pentru înregistrarea deformațiilor, umidimetre pentru determinarea variației umidității în beton, precum și aparatele necesare înregistrării, frecvențmetru pentru tensometrele cu coardă și puntea de măsurare pentru umidimetre.

Confecționarea acestor aparate la noi umple un gol simțit în tehnica măsurătorilor de deformație.

CAPITOLUL II

MĂSURĂTORI DE DEFORMAȚII DIN EXTERIORUL CONSTRUCȚIILOR MASIVE

A. MĂSURĂTORI GEODEZICE

§ 1. CLASIFICAREA MĂSURĂTORILOR

Problema studiului deformațiilor la care este supusă o construcție masivă atît în perioada de execuție, cît și de exploatare, prezintă interes atît din punct de vedere practic cît și teoretic.

În vederea determinării deformațiilor absolute ale lucrării respective cît și ale terenului înconjurător, se folosesc măsurători geodezice.

Aceste măsurători au fost imaginate de M. Zolty și puse la punct de M. Lang. Ele au fost aplicate la numeroase baraje franceze și elvețiene printre care se pot cita: Marèges, Eguzon, Ban-de-Champagney, Charpal, L'Etroit, Barberine Schrah, Remyen, Spitalamm etc. În Portugalia Santa Luzia, Ermal etc.

O dată cu dezvoltarea acestei tehnici s-a adoptat două metode de lucru, una de zi, inițiată de Lang, și alta de noapte inițiată de Hough.

Lang protejează teodolitul de razele solare cu o umbrelă.

În stație aparatul îl centrează printr-un procedeu special pe o pilă de beton.

Hough utilizează trepiezi rigizi de lemn, fixați în teren. Centrarea aparatului o face cu un fir de plumb și observațiile sînt executate la adăpostul unei gherete.

În funcție de posibilități se recomandă la măsurătorile ce se execută pe construcțiile masive, utilizarea ambelor metode de lucru.

Aceste măsurători se fac prin observații periodice asupra deplasărilor verticale și orizontale, consemnîndu-se valorile rezultate în fișe și formulare.

Din această grupă de măsurători fac parte :

triangulația
nivelmentul
aliniamentul.

Pentru ușurința înțelegerii în cele ce urmează ne referim ca lucrare masivă la un baraj.

1. Determinarea deplasărilor prin triangulație

Triangulația este metoda cu ajutorul căreia se determină poziția exactă pe teren și pe plan a unui număr de puncte, care formează, între vizele ce se pot duce, triunghiuri.

Prin vizări repetate se măsoară de la minimum două stații schimbarea poziției reperelor fixate pe paramentul aval al barajului, cuprinzând și unele puncte de pe versanți, pentru a se vedea la ce modificări sînt supuse împrejurimile barajului în urma greutății construcției și a lacului de acumulare.

Cu cît numărul stațiilor este mai mare cu atît se mărește și precizia măsurătorilor, obținindu-se totodată posibilități noi de control.

În figura 5 se redă schema unei triangulații făcute la baraj.

În exemplul de față pentru triangulație sînt date patru stații fixe, dintre care două, *I* și *II*, sînt stații de observație și două, *III* și *IV*, sînt stații de control.

Din stațiile *I* și *II* se fac vizări pe reperele încastrate în paramentul aval al barajului.

În acest scop, pe paramentul aval, se îmbetonează repere speciale, pentru observații (fig. 12), cîte 3—4 în fiecare bloc înalt (în blocurile de înălțime mică un număr mai mic). Numărul lor se poate completa cu repere suplimentare de observații. Primul rînd se pune sub coronament, celelalte dispuse astfel încît să avem o imagine fidelă asupra desfășurării deformațiilor.

Este recomandabil să existe cît mai multe repere instalate în blocurile prevăzute cu instalații pendulare, astfel încît să existe posibilitatea comparării rezultatelor obținute prin măsurători pendulare și prin măsurători trigonometrice.

În funcție de topografia terenului, pentru fiecare stație fixă se repartizează cîte 3—4 direcții de orientare. Pe aceste direcții, la distanțe stabilite, pentru fiecare caz în parte, se fixează repere de control. În cazul nostru a se vedea stațiile *I*, *III* și *IV* (fig. 5).

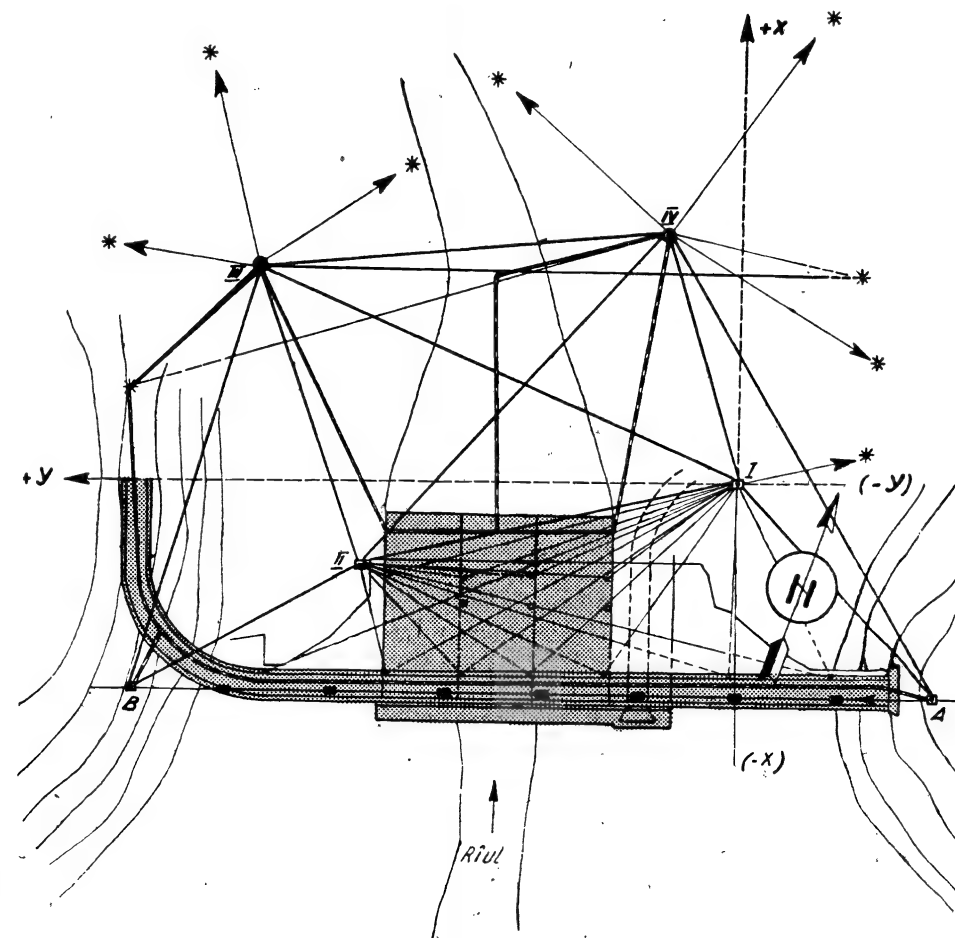
Precizia ce se cere este de $\pm 0,25$ mm la 100 m distanță de vizare.

Ca aparate se folosesc teodolite de precizie, înzestrate cu instalație de centrare automată și precisă, precum și mirele necesare în asemenea cazuri.

Măsurătorile executate prin triangulație vor fi întotdeauna completate cu măsurători prin aliniament și nivelment.

2. Nivelmentul de înaltă precizie

Cu ajutorul nivelmentului se pot determina variațiile pe verticală ale diverselor puncte îmbetionate în acest scop în masivul de beton.



Legenda

- | | |
|--|---------------------------|
| <i>A, B, I, II</i> Stații fixe de observație | * Repere de control |
| <i>III, IV</i> Stații fixe de control | —+— Rețea de triangulație |
| • Repere de observație | — Aliniament |
| o Repere suplimentare | — Nivelment de precizie |

Fig. 5. — Schema unei rețele geodezice pentru determinarea deformațiilor aplicate la un baraj.

În general, aceste deplasări pe verticală sînt foarte mici. Din aceste motive, se impune folosirea unui nivelment de înaltă precizie.

Reperele de nivelment se fixează în adâncime la baza galeriilor, fiind acoperite sau protejate contra distrugerilor, așa cum se vede în figura 6, în care se redă detaliul de amplasare a reperelor de nivelment.

Nivelmentul se execută mai întâi în interiorul galeriilor orizontale, apoi după posibilitate se continuă și în celelalte galerii, continuându-se apoi în interiorul construcției.

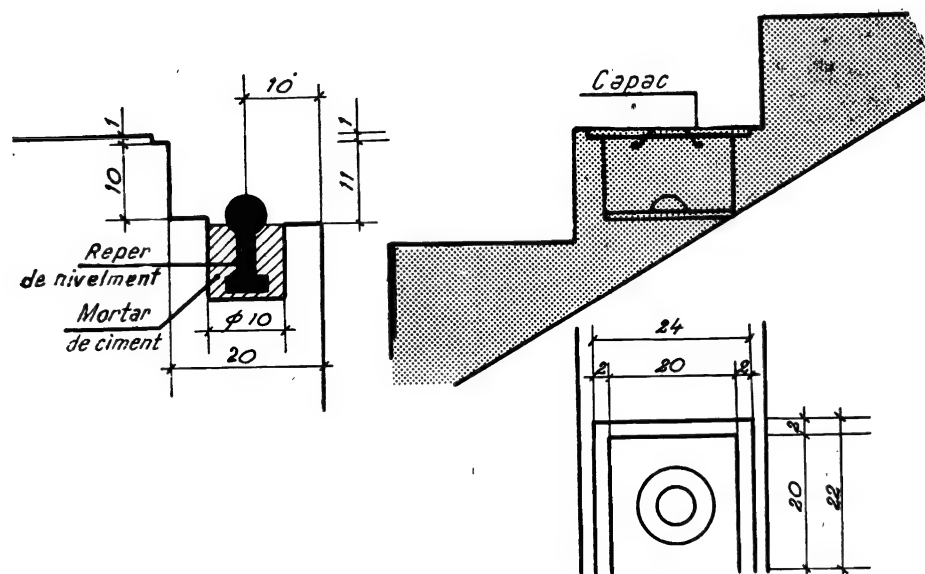


Fig. 6. — Detaliu de amplasare a reperului de nivelment

Punctele accesibile de pe coronament și terenul înconjurător se vor introduce de asemenea în rețeaua de nivelment.

În figura 5 se poate urmări schema unui nivelment de înaltă precizie executat la un baraj.

Ca reguli de amplasare a reperelor, se obișnuiește ca în galeriile de jos ale barajului să se îmbetoneze câte două repere în fiecare bloc, iar în galeriile din etajele superioare câte un reper de bloc.

Pe versanți și în valea râului, la o suficientă distanță de baraj, se aleg, la circa 200—300 m, stații fixe, ce vor servi ca puncte de plecare pentru un nivelment de precizie.

Între aceste stații și baraj vor fi un număr suficient de repere, pentru observarea eventualelor variații ale terenului.

Precizia înaltă pe care o cere nivelmentul, impune folosirea unor instrumente (nivele) de înaltă precizie.

Descrierea acestor aparate se găsește în manualele de specialitate.

Precizia ce se cere este de $0,1 \div 0,5$ mm la o distanță de nivelment de 1 km.

3. Determinarea deplasărilor prin aliniament

Aliniamentul este o metodă de măsurare relativ simplă, care permite determinarea în plan orizontal a deplasării unui punct de pe coronamentul unui baraj, în funcție de presiunea apei din lacul de acumulare și de temperatura din interiorul masivului de beton datorit exotermiei cimentului.

Observarea se face optic, cu ajutorul unui teodolit. Conform cu fig. 7, se vizează între stațiile fixe A și B de pe versanți și se constată dacă reperele a, b, c etc. de pe coronament mai sînt în coincidență pe aliniament.

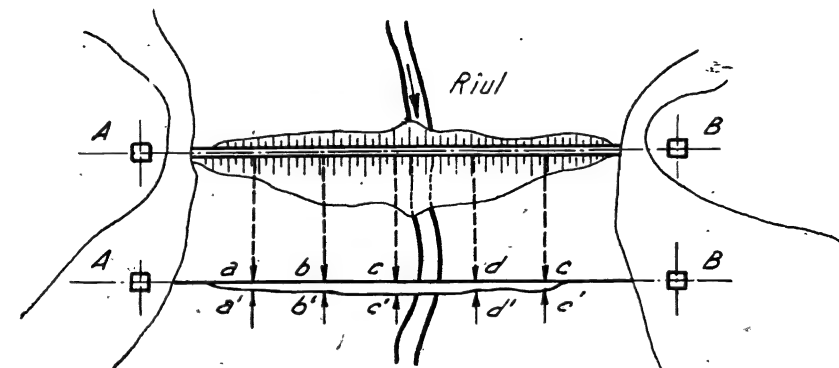


Fig. 7. — Schema determinării deformațiilor la un baraj prin aliniament.

Valoarea deplasărilor observate în punctele a, b, c etc. poate fi determinată cu ajutorul mirelor sau prin metoda preconizată de ing. M. M. Dorohov (U.R.S.S.) cu ajutorul aparatului numit microlinometrul Dorohov (fig. 8).

Aparatul constă dintr-un suport 1 pe care este fixat cadrul 2. Citirea se face pe scara 3.

De-a lungul acestei scări se poate deplasa indicatorul 5, cu ajutorul unui șurub micrometric 4.

Indicatorul 5 este legat cu tija verticală 6, care totodată constituie suportul pentru susținerea reperelor de vizare.

Deplasarea punctului de pe construcție se determină în acest fel prin deplasarea tijei 6, până ce punctul reperului de vizare 8 (fig. 11) vine în coincidență pe aliniament.

Aprecierea valorii deplasării se face pe scara 3 și vernierul 7 sau pe scara șurubului micrometric 4.

Din literatura de specialitate rezultă că la o distanță de 200 m, trebuie să avem o precizie de $0,2-0,3$ mm.

Pentru vizări se folosește un teodolit de precizie. Descrierea aparatului se găsește în manualele de specialitate.

Acest procedeu de măsurare și determinare a deformațiilor completează măsurătorile pendulare din puturi (cap. II, B).

În figura 5 se redă și schema de vizare prin aliniament a coronamentului unui baraj.

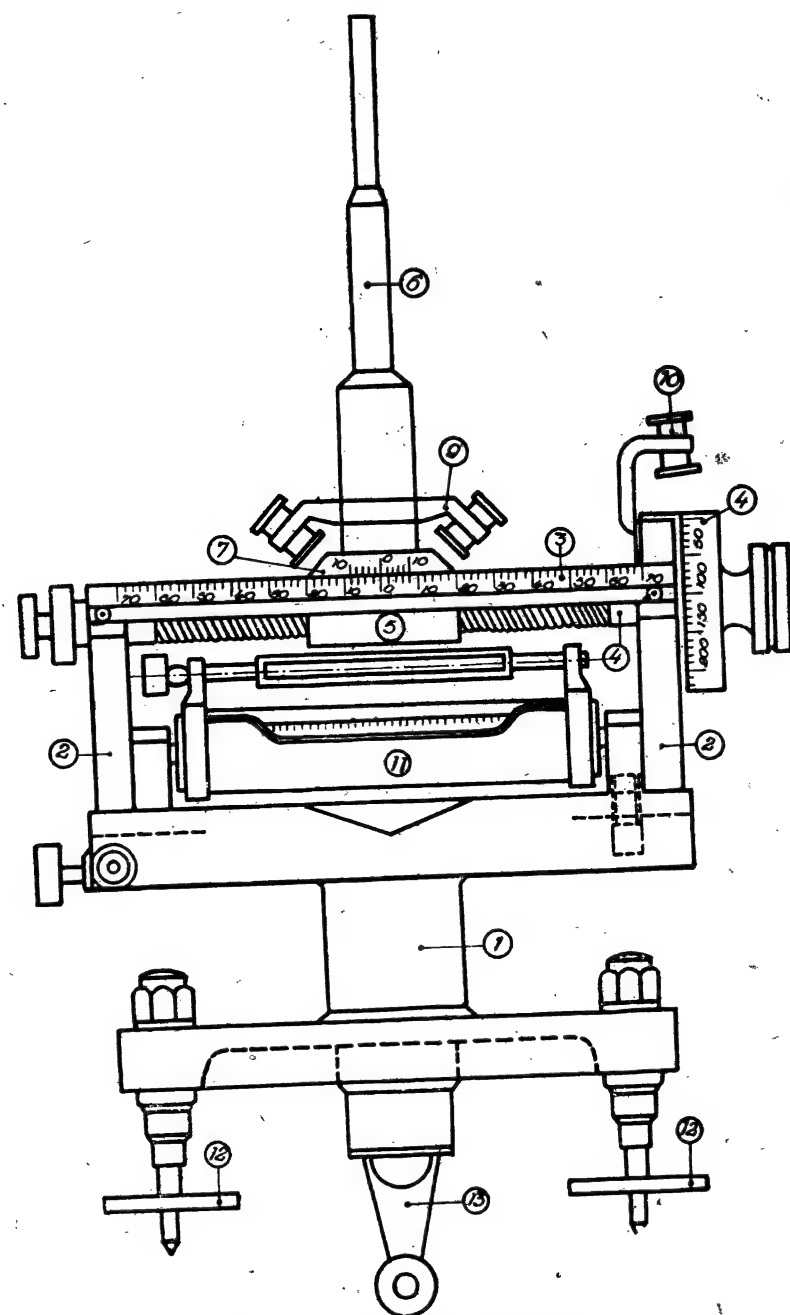


Fig. 8. — Microlinometrul Dorohov.

§ 2. BORNAREA CONSTRUCȚIILOR MASIVE

Pentru amplasarea și executarea pe teren a construcțiilor masive, pentru controlul acestor lucrări atât în timpul execuției cât și după execuție, precum și pentru constatarea eventualelor tasări sau înclinări ale construcției, este obligatorie bornarea și fixarea de repere atât în cazul triangulației cât și în cazul nivelmentului și al aliniamentului.

În acest scop se execută borne și repere.

Se numesc borne stâlpii de marcă construiți din beton armat sau piatră cioplită de formă paralelipipedică, iar repere semnele de marcă din metal sau sticlă, care se pot fixa pe borne, pe paramenți sau chiar pe aparate.

Atât bornele cât și reperele sînt de diferite dimensiuni și forme, în funcție de poziția și rolul ce-l au în planul general de măsurători.

În măsurătorile geodezice un rol important îl joacă bornarea stațiilor fixe.

Alegerea locului corespunzător unei stații fixe cere multă atenție și o cunoaștere precisă a situației topografice. O vizitare prealabilă foarte minuțioasă a împrejurimilor barajului este indispensabilă.

La alegerea unei stații fixe se vor avea în vedere următoarele puncte:

- 1) Locul stației fixe trebuie ales pe cât posibil în roci sănătoase, nesupuse deformațiilor și la minimum 50 m depărtare de piciorul aval al barajului.
- 2) Alegerea trebuie astfel făcută încît punctele de pe construcția respectivă să apară sub unghiuri favorabile citirii.
- 3) Locul să fie accesibil legării de punctele topografice ale regiunii.

La fiecare stație fixă se prevede ridicarea unei borne din piatră sau beton, cu o bază pătrată de 50×50 cm și înălțimea de 120 cm. Talpa fundației bornei trebuie să ajungă pînă sub adîncimea de îngheț a solului.

În figura 5 avem șase stații fixe A, B, I, II, III și IV, în care avem instalate cîte o bornă de dimensiunile specificate mai sus.

Bornele servesc fie ca rezeme pentru așezarea teodolitelor, fie ca puncte de vizare din celelalte stații (în acest caz se instalează pe suprafața laterală sau în locul teodolitului repere de vizare).

În figura 9 este redată rezemarea teodolitului pe bornă.

În acest scop se îmbetonează în mijlocul bornei din beton o piesă din bronz (fig. 10), astfel încît suportul teodolitului 13 (fig. 9) să intre în golul 2 al piesei 1. Această piesă trebuie să stea perfect verticală, pentru ca reperele fixate pe ea să asigure precizia citirii în toate direcțiile. La fixarea poziției verticale se folosește de obicei o nivelă mobilă. Piesa este confecționată din bronz special, iar suprafața ei este prevăzută cu asperități, ce au scopul să creeze o cît mai bună aderență între beton și piesă. La partea superioară este prevăzută o calotă demontabilă de protecție 3.

În adîncitura 4, prevăzută în calota demontabilă, se pot așeza diverse repere de vizare. Acest tip de piesă asigură o centrare bună și durabilă.

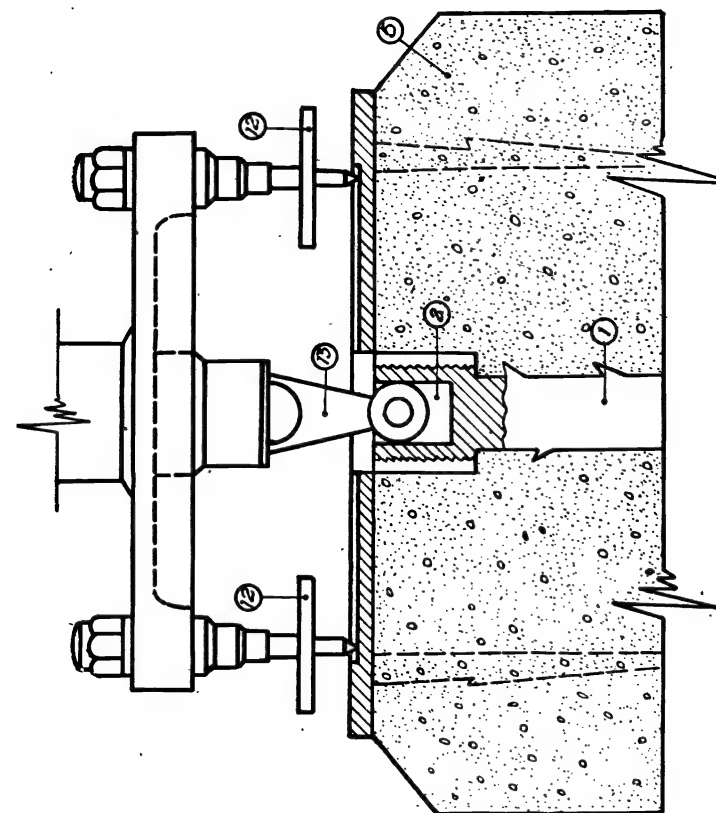


Fig. 9. — Schema de fixare a teodolitului pe o bornă din beton.

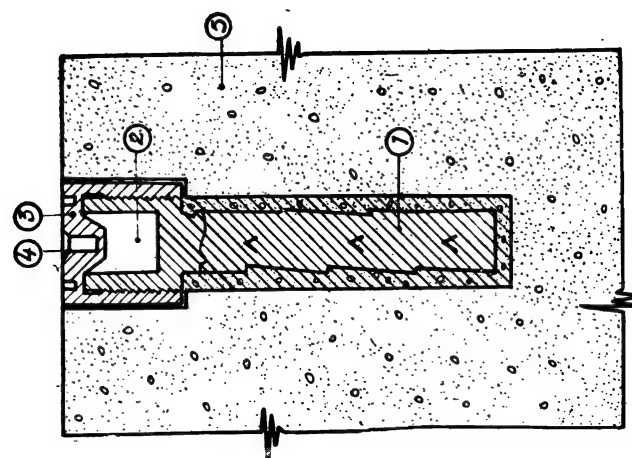


Fig. 10. — Piesa din bronz pentru susținerea reperelor sau a aparatelor.

În figura 11 sînt redatăe repere de vizare utilizate la măsurătorile geodezice. În cazul de față reperele sînt anexate de tija verticală 6 a microlinometrului Dorohov.

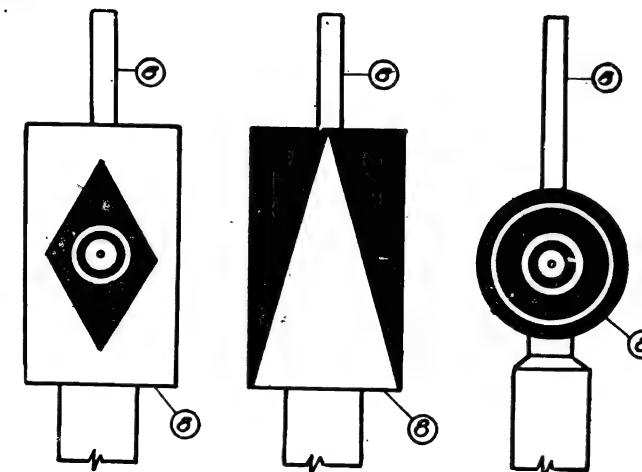


Fig. 11. — Repere de vizare.

Pentru o cît mai bună vizare este recomandabil să se utilizeze culorile alb și negru dispuse ca în figura 11.

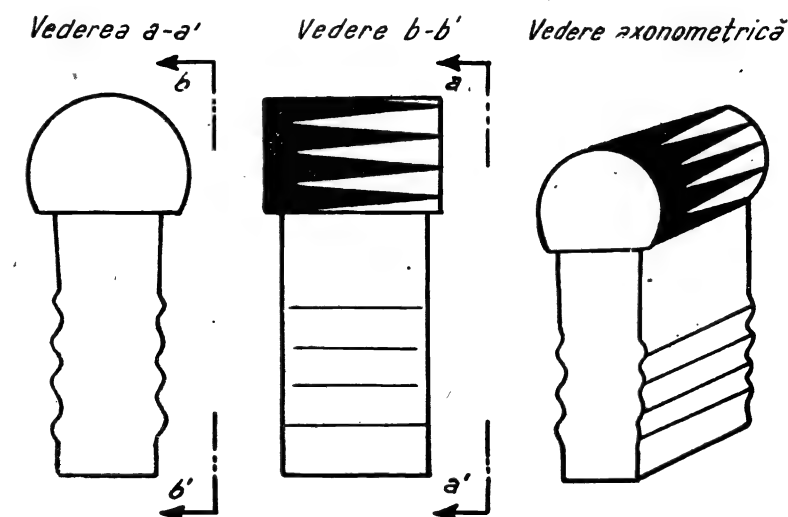


Fig. 12. — Reper din sticlă pentru paramenți.

În cazul determinărilor trigonometrice, pentru paramentul aval se utilizează repere metalice sau din sticlă îmbetionate în betonul de parament. În figura 12 se dă vederea frontală și laterală a reperului utilizat

în acest caz, precum și vederea axonometrică. Aceste repere se trec în planul de măsurători și numerotarea lor de obicei se face de la stînga spre dreapta. Pentru ca aceste repere să fie mai ușor vizibile, se încercuiesc cu cite un inel concentric reperului și vopsit în roșu. Diametrul interior al inelului se ia de circa 25 cm, iar cel exterior 35 cm. Trebuind să reziste mult timp

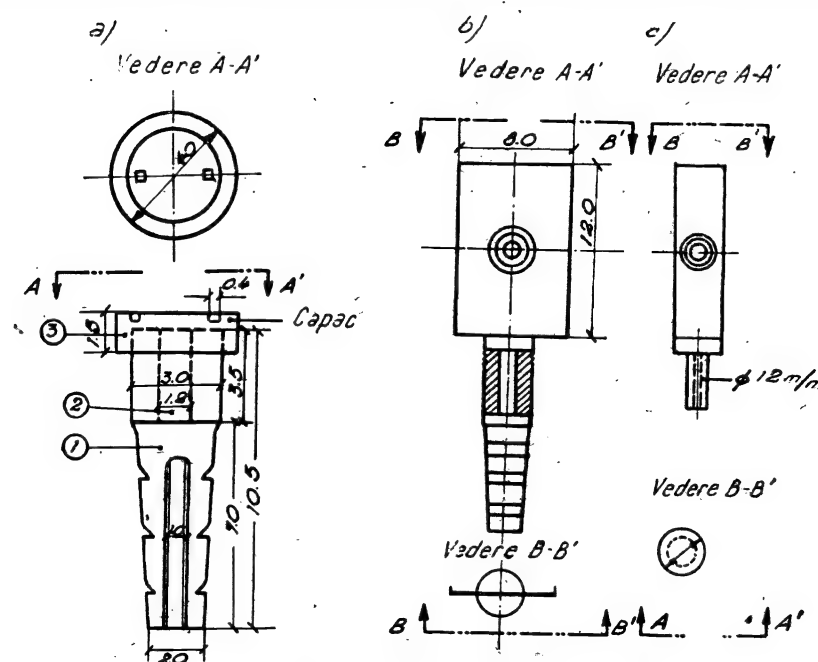


Fig. 13. — Repere de vizare utilizate în U.R.S.S.

a) Piesă de cupru pentru susținerea reperelor b și c; b) reper, pentru distanțe mari; c) reper pentru distanțe mici.

intemperii reperele sînt prevăzute cu un acoperiș de fontă galvanizată deasupra lor.

Totodată trebuie avut în vedere ca aceste repere să fie într-un număr suficient de mare, pentru ca să fie asigurată o cit mai bună precizie.

În figura 13 sînt redată repere de vizare fixe, utilizate pe construcțiile masive din U.R.S.S. În punctele de triangulație se execută stîlpi de beton armat, în care se îmbetonează piese de cupru 1 prevăzute cu o adîncitură de centrare cilindrică 2 și cu capac de protecție 3 (fig. 13 a).

Vizările de la punctele de triangulație se fac cu teodolite direct la repere speciale de vizare, executate pentru distanțe mari (fig. 13 b) și distanțe mici (fig. 13 c).

Observațiile asupra deformațiilor barajelor de pămînt se fac cu ajutorul reperelor speciale, executate din beton, metal sau lemn.

Reperetele de pe construcțiile de pămînt sînt de două tipuri:

- 1) repere de nivelment
- 2) repere de planimetrie.

Reperetele de nivelment servesc pentru determinarea tasării barajului și a terenului de fundație, iar reperele de planimetrie servesc pentru determinarea deplasărilor orizontale ale barajului.

Pentru a putea urmări în timp variațiile tasărilor, separat ale corpului barajului și ale terenului său de fundație, se folosesc două feluri de repere de nivelment:

- a) de suprafață
- b) de adîncime.

Reperetele de suprafață servesc pentru determinarea tasării totale a barajului și a terenului său de fundație și se așază la o adîncime întrucîtva mai mare ca adîncimea limitei de îngheț.

În figura 14 a sînt redată dimensiunile unui reper de suprafață. Fierul-beton 1 se încastrează în taluz pe o adîncime de 175÷200 cm. Fixarea se face prin brida 2, astfel ca smulgerea să fie cit mai grea. Reperul este vizibil pe o înălțime de 10÷20 cm.

În figura 14 b este redat un alt sistem de reper de suprafață cu profil laminat T 2, încastat într-o placă de beton armat 1 avînd dimensiunile de circa 200×200 cm.

Pentru evitarea strîngerii reperelor de straturile superioare ale terenurilor care îngheață, reperele se înconjură cu un strat de nisip din care trebuie să fie asigurată evacuarea apei.

Reperetele de adîncime dau posibilitatea să se aprecieze tasările unui punct anumit din corpul construcției sau situația întregii mase de pămînt așezate mai jos.

Reperul de adîncime de construcția cea mai simplă se prezintă sub formă de masiv de beton sau placă de beton armat așezată pe terenul de fundație al barajului. De acest masiv sau placă de beton armat 1 este legată o tijă de oțel verticală 2, care iese la suprafață. Tija este așezată într-un puț din tuburi de protecție 3 și are posibilitatea de a se deplasa vertical, independent de puț. Puțul trebuie să aibă obligatoriu un capac 4 (fig. 14 c).

Poziția verticală a tijei este asigurată prin susțineri din 200 în 200 cm.

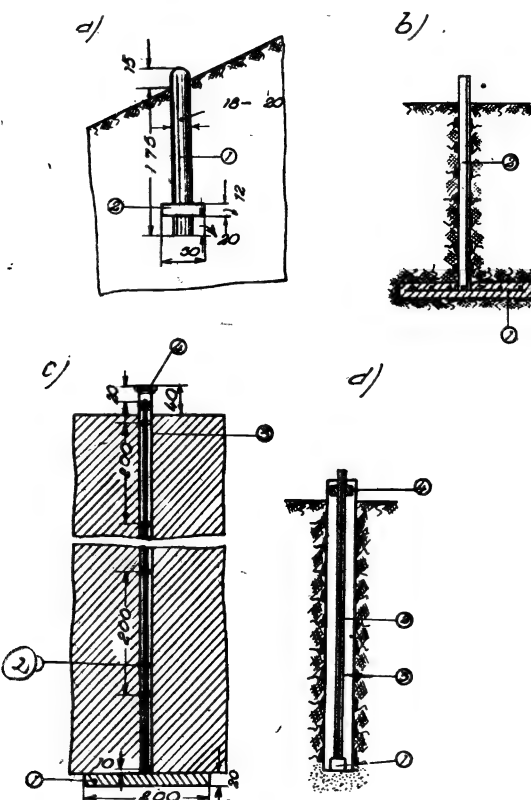


Fig. 14. — Repere la construcțiile pe pămînt: a, b — repere de suprafață; c, d — repere de adîncime.

Dacă introducerea reperului se face după executarea lucrării, reperul de adâncime (tija 2 și placa de beton 1) ce se confecționează în dimensiuni mai mici decât diametrul tubului se introduce în interiorul tubului de protecție (fig. 14 d).

Placa 1 poate să fie o simplă căptușeală din lemn de circa 10 cm grosime. În acest caz se forează un puț cu diametrul de $100 \div 150$ mm, în care se introduce placa 1 și tija 2, protejată de tubul 3, ce are un diametru de $37 \div 65$ mm.

La partea superioară sînt prevăzute inele de lemn 4 pentru fixarea direcției.

Reperele de adâncime, ale căror plăci sînt așezate în planul fundației, sub construcție, pot măsura tasările proprii ale fundației.

Reperele de suprafață și adâncime se așază în taluzele și coronamentul barajului de pămînt, în profile transversale caracteristice barajului.

Determinarea poziției reperelor de nivelment se face cu ajutorul unui nivelment de precizie.

Reperele de planimetrie nu se deosebesc cu nimic din punct de vedere constructiv de reperele de nivelment la suprafață.

Variația coordonatelor orizontale ale reperelor de planimetrie în timp se determină cu ajutorul teodolitelor. Poziția reperelor de nivelment și a celor de planimetrie de pe baraj se leagă cu stațiile fixe de pe versanți.

Numărul reperelor de nivelment de pe maluri este de cel puțin două, iar a celor de planimetrie de cel puțin patru, amplasate câte două pe fiecare mal, în profilul principal al construcției.

Rezultatele observațiilor periodice asupra reperelor se înregistrează în acest formular.

Denumirea construcției

FORMULAR GENERAL CU COTELE ABSOLUTE ALE REPERELOR

Nr. crt.	Amplasarea reperului	Nr. reperelor	Data măsurătorii geodezice												Observații
			Cote absolute												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	

Obs. Formularul va fi însoțit de graficul cu cotele absolute

§ 3. CALCULUL DEPLASĂRILOR FOLOSIND METODA GEODEZICĂ

Deplasarea suferită de reperele amplasate pe construcția respectivă și în împrejurimi se poate exprima:

a) prin diferența de coordonate

b) prin mărimea deplasării punctelor de control în raport cu axa barajului în direcție longitudinală și transversală.

a) Dacă la măsurătoarea inițială (socotită de bază) borna, reperul sau punctul de control are coordonatele $A(X_n, Y_n)$, atunci la o măsurătoare curentă, punctul $A(X_n, Y_n)$ se deplasează cu ds în punctul $A'(X_{n+1}, Y_{n+1})$.

Conform cu figura 15 în coordonatele X și Y , deplasarea pe cele două direcții va fi

$$\begin{cases} \Delta x = X_{n+1} - X_n \\ \Delta y = Y_{n+1} - Y_n \end{cases} \quad (3)$$

b) În practică se obișnuiește exprimarea mărimii deplasărilor în funcție de axa barajului, această exprimare fiind mai sugestivă.

De aceea, se face o recalcule transformându-se mărimile Δx și Δy , pentru un nou sistem de coordonate ξ și η , în care direcția ξ este o direcție perpendiculară pe axa barajului, iar direcția η una paralelă cu axa barajului.

Dacă notăm cu

$\Delta \eta$ deplasarea în direcție longitudinală adică paralelă cu axa barajului și cu

$\Delta \xi$ deplasarea într-o direcție perpendiculară pe axa barajului, și dacă aplicăm cunoscuta formulă din geodezie, obținem pe noile axe

$$\begin{cases} \Delta \xi = (X_{n+1} - X_n) \cos \alpha + (Y_{n+1} - Y_n) \sin \alpha \\ \Delta \eta = (X_{n+1} - X_n) \sin \alpha + (Y_{n+1} - Y_n) \cos \alpha \end{cases} \quad (4)$$

Dacă înlocuim pe $(X_{n+1} - X_n)$ și pe $(Y_{n+1} - Y_n)$ cu Δx , respectiv Δy , obținem

$$\begin{cases} \Delta \xi = \Delta x \cos \alpha + \Delta y \sin \alpha \\ \Delta \eta = \Delta x \sin \alpha + \Delta y \cos \alpha \end{cases} \quad (5)$$

După determinarea deplasării punctelor ce ocupă poziții speciale, se trece la determinarea deplasării celorlalte puncte ce sînt așezate pe baraj în poziții intermediare față de cele de sus.

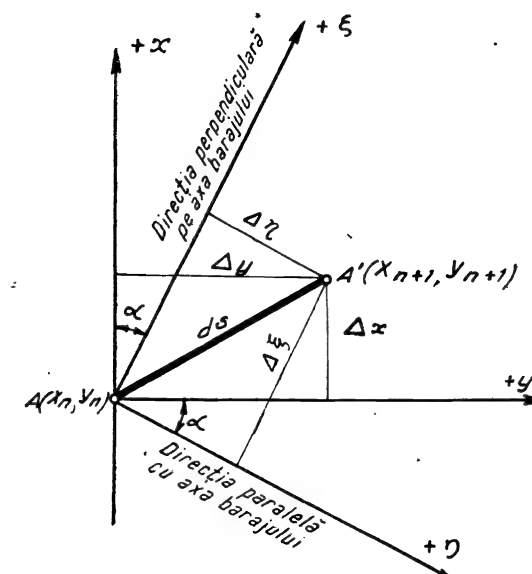


Fig. 15. — Schema de transformare a deplasărilor.

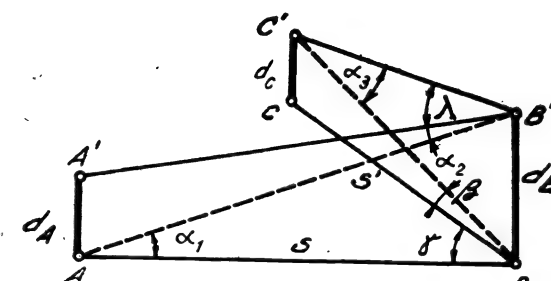


Fig. 16. — Schema de determinare a deplasării punctelor intermediare.

Pentru calcul, se poate adopta metoda geometrică de rezolvare, ținând totodată seama și de deplasarea punctelor marginale, conform cu figura 16, în care

- A, B = poziția punctelor de sprijin la observarea inițială considerată a fi măsurătoarea de bază;
 A', B' = poziția punctelor la observația curentă;
 C = poziția punctului de control intermediar la observarea inițială;
 C' = poziția punctului de control la observația curentă;
 S = distanța între punctele A și B ;
 S' = distanța între punctele de sprijin și cele de control;
 d_A = mărimea deplasării punctului A în intervalul dintre cele două observații;
 d_B = mărimea deplasării punctului B în intervalul dintre cele două observații;
 d_C = mărimea deplasării punctului C în intervalul dintre cele două observații.

Din figură rezultă ecuațiile

$$\left. \begin{aligned} d_A &= S \sin \alpha_2, \\ d_B &= S \sin \alpha_1, \\ d_C &= S' \sin \beta, \\ d_B &= S' \sin \alpha_3. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

De unde rezultă

$$\alpha_2'' = \frac{d_A}{S \sin 1''}, \quad \alpha_1'' = \frac{d_B}{S \sin 1''}, \quad \beta'' = \frac{d_C}{S' \sin 1''}, \quad \alpha_3'' = \frac{d_B}{S' \sin 1''}. \quad (7)$$

Din condiția geometrică avem

$$\alpha_1 + \beta + \gamma = \alpha_2 + \alpha_3 + \lambda, \quad (8)$$

de unde

$$\beta = \alpha_2 + \alpha_3 - \alpha_1 + (\lambda - \gamma). \quad (8')$$

Înlocuind valorile din relația (7) în (8') obținem

$$\frac{d_C}{S' \sin 1''} = \frac{d_A}{S \sin 1''} + \frac{d_B}{S' \sin 1''} - \frac{d_B}{S \sin 1''} + (\lambda - \gamma) \quad (9)$$

sau

$$d_C = (d_A - d_B) \frac{S'}{S} + (\lambda - \gamma) \frac{S'}{\rho} + d_B, \quad (10)$$

în care

- ρ = numărul de secunde al unui radian;
 λ = unghiul între punctul de sprijin și cel de control la observația curentă;
 γ = unghiul între punctul de sprijin și cel de control la observația inițială considerată a fi de bază.

Deplasările punctelor de control spre bieful aval se consideră pozitive, iar înspre bieful amonte se consideră negative.

Calitatea observațiilor pe teren se poate caracteriza prin erorile medii pătratice ale direcțiilor unei singure serii de vizări calculate cu formula

$$e_q = \pm \sqrt{\frac{[v^2] - \frac{[v]^2}{n}}{(n-1)(t-1)}}, \quad (11)$$

în care

- n = numărul seriilor de vizări;
 t = numărul de direcții;
 v = erori reziduale.

Cu n serii de vizări, eroarea medie pătratică a rezultatului final este

$$e_m = \pm \frac{e_q}{n}. \quad (12)$$

Prima măsurătoare se face la lac gol. De la zero metri pînă la $\frac{1}{2} H$ (H fiind înălțimea apei din lacul de acumulare) măsurătorile se fac la fiecare doi metri.

De la $\frac{1}{2} H$ pînă la $\frac{2}{3} H$ măsurătorile se execută pentru fiecare metru.

De la $\frac{2}{3} H$ pînă la H total, măsurătorile se execută pentru fiecare jumătate de metru.

În cazul cînd deplasările sînt mari, atunci numărul de măsurători se poate mări.

Măsurătorile geodezice durează circa 8—10 zile.

§ 4. AVANTAJELE ȘI DEZAVANTAJELE METODEI GEODEZICE

Printre dezavantajele cele mai importante ale metodei geodezice cităm:

a) Aplicarea și valorificarea metodei cere cunoștințe speciale și multă experiență, ceea ce impune efectuarea măsurătorilor de către un specialist.

b) Efectuarea măsurătorilor este condiționată de starea atmosferică.

Avantajele acestei metode sînt:

a) Precizia obținută este mare; astfel, un observator experimentat atinge la o distanță de nivelment de 1 km, observat dus și întors, o precizie medie de $\pm 0,4$ mm.

b) Pentru observațiile cu ajutorul teodolitului de precizie, se ajunge la o precizie de $\pm 0,3$ mm pentru 100 m distanță, determinată din două măsurători și la o precizie de $\pm 0,5$ mm pentru un unghi de înălțime observat de două ori.

B. MĂSURĂTORI PENDULARE ÎN PUȚURI

§ 5. SCOPUL MĂSURĂTORILOR PENDULARE

Componenta orizontală a rezultantei forțelor care acționează asupra unei construcții imprimă acesteia o deplasare orizontală.

Valoarea deplasării orizontale constituie o indicație prețioasă în vederea stabilirii gradului de distrugere a construcției.

O dată cu creșterea deformațiilor, crește și pericolul de avariere și de distrugere a lucrării.

Măsurătorile pendulare în puțuri au scopul de a stabili:

1) Măsurarea deplasării pe orizontală a fiecărui punct al axei verticale Z și ca urmare: alura curbei de încovoiere în planul $Y-Z$, plan

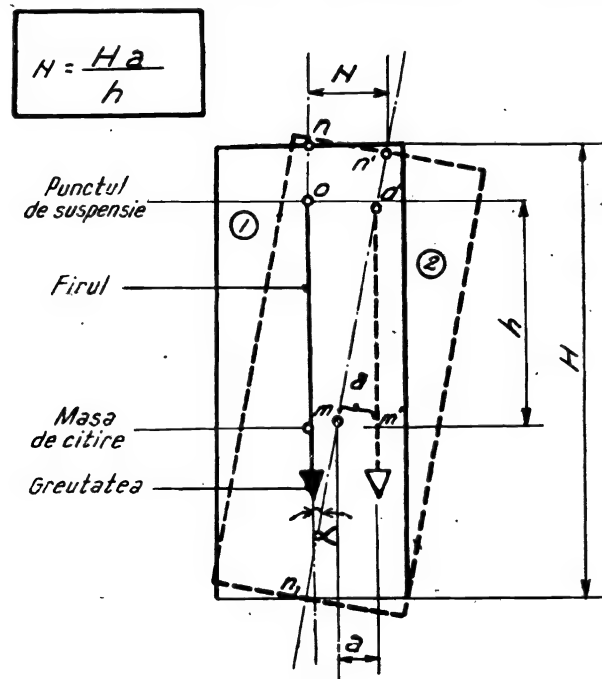


Fig. 17. — Stabilirea deplasării pe orizontală a unui punct de pe axa verticală.

perpendicular pe direcția curentului apei și alura curbei de încovoiere în planul $Z-X$, plan paralel direcției curentului apei.

2) Măsurarea deplasării pe verticală (adică măsurarea tasărilor).

§ 6. PRINCIPIUL DE MĂSURARE

Instalațiile pendulare se montează într-un puț al barajului și prin mijloace mecanice sau optice se observă deplasarea firului de sîrmă față de o poziție inițială considerată a fi zero.

În urma presiunii hidrostatice, a greutății betonului și deformării rocii de fundație, un bloc de beton se va înclina din poziția 1 în poziția 2, cu un unghi oarecare. Ceea ce ne interesează este deplasarea pe orizontală în urma rotirii blocului cu unghiul α .

Din figura 17 rezultă

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{N}{H}, \quad (13)$$

iar din asemănarea triunghiurilor $n n_1 n'_1$ și $m o' m'$ rezultă

$$N = \frac{H \cdot a}{h}. \quad (14)$$

Ecuția (14) ne dă valoarea deplasării pe orizontală a unui punct de pe axa verticală ca urmare a rotirii blocului cu unghiul α . În cazul că blocul se și deplasează, atunci valoarea acestei deplasări pe orizontală se adună la valoarea N .

§ 7. FUNCȚIONAREA PENDULULUI

Schema de funcționare a pendulului este redată în figura 18 a, b și c.

În blocul de beton 1 din figura 18 a este montat un pendul 2, prevăzut cu un dispozitiv de susținere 3 și un dispozitiv intermediar de fixare 4 a firului de sîrmă. În urma deplasării blocului și a măsurărilor făcute la masa de citire 5, dacă este îndeplinită egalitatea

$$h : v = h_1 : v_1, \quad (15)$$

atunci blocul de beton a suferit o înclinare. Dacă egalitatea (15) nu este satisfăcută (fig. 18 b), adică dacă

$$h : v \neq h_1 : v_1 \quad (16)$$

atunci blocul de beton pe lângă înclinare mai are și o săgeată.

Este recomandabil ca măsurătorile pendulare să se facă concomitent cu cele ale clinometrului.

Așadar se stabilește unghiul de înclinare a blocului de beton atît cu clinometrul (α_c) cît și cu pendulul (α_p) (fig. 18 c). Dacă este îndeplinită condiția

$$\alpha_p = \alpha_c, \quad (17)$$

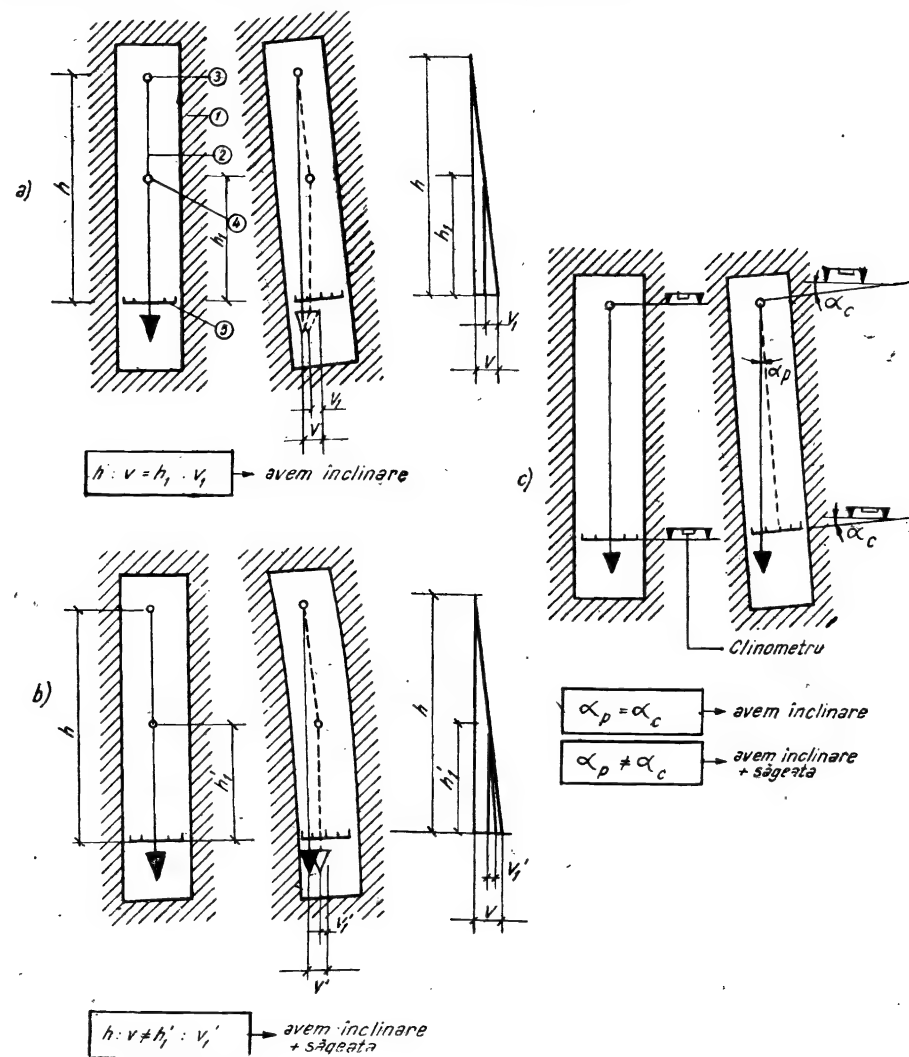
atunci blocul de beton a suferit o înclinare, iar dacă egalitatea nu este satisfăcută, adică

$$\alpha_p \neq \alpha_c, \quad (18)$$

atunci pe lângă înclinare blocul de beton mai are și o săgeată.

§ 8. PĂRȚILE COMPONENTE ALE UNEI INSTALAȚII PENDULARE

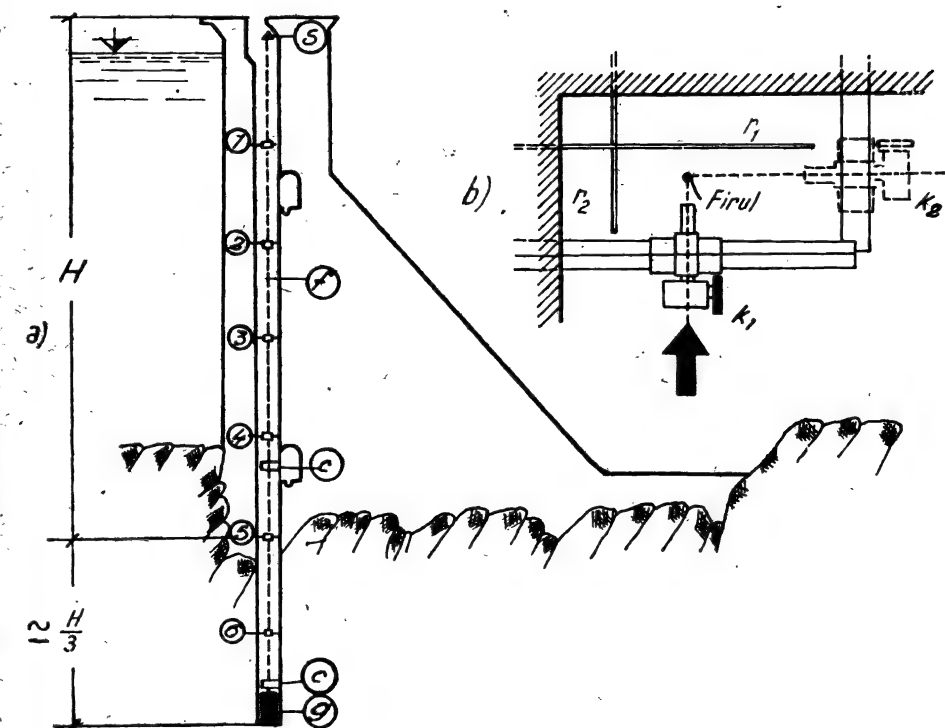
Măsurătorile pendulare sînt de o importanță foarte mare pentru supravegherea în timp a barajului. În caz că puțul este prelungit pînă la roca de fundație atunci cu ajutorul acestor măsurători putem determina proprietățile și modificările terenului de fundație.



O instalație pendulară se compune dintr-un fir de sîrmă, dispozitive pentru suspendarea și fixarea intermediară a firului, o greutate și un aparat de citire.

În figura 19 a este redat schematic modul de instalare a unui pendul în puțul unui baraj.

În cazul de față puțul este dus pînă la roca de fundație, la circa $\frac{H}{3}$ din înălțimea totală a barajului. În felul acesta se pot studia proprietățile și modificările terenului de fundație. Instalația pendulară este completă, avînd firul de sîrmă f , dispozitivul de suspendarea firului S , dispozitivele



1, 2, 3, 4, 5 și 6, pentru fixarea intermediară a firului de sîrmă, cu scopul de a se putea citi înclinările suferite de baraj în cîteva etaje diferite, greutatea g și aparatul de citire c , care se instalează în puț la un loc accesibil din galeria de vizitare, de injecții, de drenaje etc.

Cu ajutorul aparatului de citire (fig. 19 b) se poate obține numai valoarea deplasării relative a unui punct (situat de exemplu în zona coronamentului) față de bază, căci la rîndul său și punctul fix din zona fundației, datorită forțelor orizontale, se deplasează o dată cu deplasarea terenului de fundație.

§ 9. METODE DE CITIRE

Pînă în prezent pentru citirea coordonatelor s-au folosit mai multe metode dintre care cităm :

1. Metoda optică
2. Metoda reperului zidit
3. Metoda măsurătorilor oblice.

1. Metoda optică

Cu ajutorul acestei metode se determină poziția momentană a firului de sîrmă prin citire la lunetă și la rigla gradată.

Potrivit indicațiilor din literatura străină, această metodă permite de a se face citiri cu o precizie pînă la 0,0025 mm.

Uneori instalațiile sînt înzestrate cu un dispozitiv fotografic automat, care dă posibilitatea de a se fixa poziția firului de sîrmă la diferite momente.

Se pot indica în acest sens trei procedee optice de măsurare, procedeul american, procedeul elvețian (coordiscopul Huggenberger) și procedeul italian (aparatură Galileo).

La procedeul american citirea se face prin intermediul unui microscop care poate fi deplasat cu ajutorul unui șurub pe o glisieră prevăzută cu gradații milimetrice, pe o lungime de 50 mm. Precizia de citire este de 0,025 mm.

Pentru citirea la un singur punct de măsurare, este nevoie de două poziții ale microscopului prin mutarea lui de pe prima bară suport pe a doua bară suport, amplasate perpendicular una pe alta.

Procedeul Huggenberger folosește de asemenea un microscop ce se fixează pe o placă-suport, ce permite o rotire a microscopului cu 90°, astfel că pentru fiecare punct de măsurare este nevoie de un singur punct de așezare (vezi fig. I a, b) lucru ce mărește siguranța de măsurare.

La acest procedeu linia de măsurare este de 100 mm și precizia de 0,05 mm. Aparatul permite și măsurarea deplasărilor pe verticală. La procedeul italian (aparatură Galileo), imaginea firului de sîrmă este transmisă prin două prisme la ocularul de observație, raza de lumină trecînd inițial printr-un obiectiv o prismă și un reticul. Aparatul permite o indicare grosieră și una fină. Precizia este de 0,025 mm. Aparatul este înzestrat și cu un ocular micrometric astfel că prin observarea unui semn practicat pe fir se pot determina și deplasările pe verticală pînă la 20 mm. Aparatul are avantajul că permite citirea directă a celor două componente fără a avea nevoie de calcule.

Pe acest principiu a fost realizat și pendelmetru (vezi fig. II) realizat în laboratorul de aparate de măsură din cadrul Academiei de științe slovacă — Bratislava.

2. Metoda reperului zidit

Este o metodă de citire care permite utilizarea unui reper zidit și a unui instrument de citire mobil. Instalația este asemănătoare cu cea din figura 19 b. Diferența constă în faptul că tijele pe care se mișcă instrumentele de citire k_1 și k_2 nu sînt încastrate în beton, ci în timpul citirii se fixează în niște socluri metalice îmbetonate. Citirea nu se face pe riglele r_1 și r_2 , ci chiar pe tije.

Această metodă permite utilizarea unui singur instrument de citire pentru mai multe repere.

Un alt avantaj al acestei metode este că dă posibilitatea de a se măsura și deplasările verticale.

3. Metoda măsurătorilor oblice

Dispozitivul de citire este format din două riglete gradate ale căror extremități sînt tăiate la 45°, cum se vede în figura 20 a.

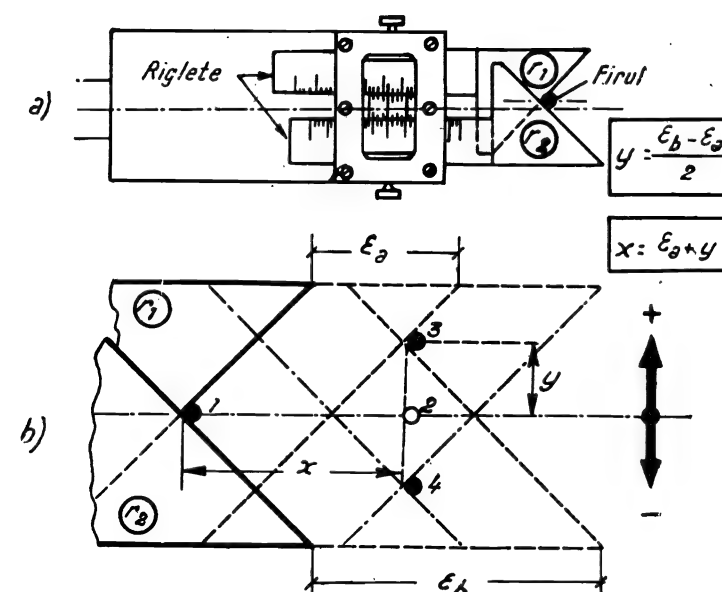


Fig. 20. — Dispozitiv de citire cu măsurători oblice.

Pentru fixarea poziției pendulului, este suficient de a se face să culiseze fiecare rigletă, care se deplasează înaintea unui vernier fix, astfel ca partea oblică a rigletei să ajungă în contact cu firul.

Cu acest sistem pentru a se obține poziția firului, este totdeauna necesar de a se face citirea pe amîndouă rigletele, cu ajutorul vernierului.

Coordonatele în sens amonte-aval sau urmărind axul barajului, se deduc ușor prin citirea pe un transformator grafic sau pe cale analitică.

Din figura 20 b, se vede că în poziția 3 firul de sîrmă are următoarele coordonate :

$$2y = \varepsilon_b - \varepsilon_a, \quad (19)$$

$$\left. \begin{aligned} y &= \frac{\varepsilon_b - \varepsilon_a}{2}, \\ x &= \varepsilon_a + y. \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

Gradația permite să se facă citiri de ordinul 0,05 mm.

Este recomandabil ca puțul în care se instalează aparatul de citire să fie amplasat între două blocuri vecine, pentru a se avea posibilitatea studierii deplasării și a blocului vecin. Dimensiunile puțului se iau de circa 70 × 90 cm.

Deplasările pendulelor depind nu numai de deformațiile barajului în raport cu baza sa, ci și de rotația fundației sub aspectul forțelor aplicate pe stîncă. Pentru a se determina influența respectivă a fiecăruia din aceste cazuri, trebuie prevăzute în egală măsură clinometre în așa mod încît să avem posibilitatea de a măsura înclinarea medie a bazei. Observațiile mai trebuie completate cu măsurători cu dilatometre pentru studierea deplasării rostului de dilatație în puț.

§ 10. SISTEME DE INSTALAȚII PENDULARE

Printre cele mai utilizate sisteme pendulare sînt :

1. Pendulul Juillard
2. Coordimetrul Huggenberger
3. Pendulul simplu Metra-Fric
4. Pendulul invers cu plutitor
5. Pendulul diferențial
6. Coordiscopul.

1. Pendulul Juillard

Pendulul Juillard se compune dintr-un fir de sîrmă, dispozitive de susținere și fixare intermediară a firului, o masă de citire și o greutate de circa 210 kg.

Acest pendul a fost folosit la barajul Dixence, unde poziția punctelor de susținere a fost fixată în raport cu vîrfurile pilei.

Citirea deplasărilor s-a făcut cu ajutorul măsurătorilor oblice în momentul contactului dintre firul de sîrmă și index. Precizia a fost de 0,1—0,05 mm.

2. Coordimetrul Huggenberger

Are avantajul că deplasarea firului cu plumb se poate face printr-o indicare mecanică automată cu ajutorul coordimetrului și că valoarea măsurării este independentă de observator.

Instalația are următoarele părți componente: coordimetrul propriu-zis (aparat indicator), firul de oțel, dispozitivele de suspendare și fixare intermediară a firului de oțel și greutatea.

a. *Coordimetrul propriu-zis*. Este un aparat indicator (fig. 21), care se compune din două pîrghii 1 unite printr-o bară invar, terminate la un capăt prin lagărele rotative 2, iar la celălalt capăt printr-un vernier 3 ce permite o precizie de 0,05 mm.

Deplasările pîrghiilor se citesc pe cele două scale 4 divizate de la 0 la 90.

Greutatea 5 de cîteva grame, prin intermediul scripetelui 6 imprimă pîrghiilor o presiune constantă, astfel încît acestea urmează automat mișcările firului 7.

Instrumentul de măsură este montat într-o cutie metalică, închisă pe toate părțile.

În figura 22 este redată o secțiune (după Huggenberger) prin coordimetru. Firul de sîrmă se introduce prin orificiul 1 al capacului de protecție 11, care împiedică căderea picăturilor de apă în vasul 4, apoi prin orificiul clopotului superior 2, prin tubul de ghidare 18 și la urmă prin orificiul clopotului 5.

Trecerea firului este etanșată prin clopotele 2 și 5, astfel încît să nu pătrundă nici o umiditate în interiorul cutiei. Aceste clopote se mișcă într-o baie de ulei 4 și 7, rezistentă la îngheț.

Surplusul de ulei din baia 4 se scurge prin tubul deversor 9 în baia 7, unde este montat un tub deversor 10.

Clopotele 2 și 5 sînt suspendate prin arcurile spirale 3 și 6, care asigură totodată aparatul contra avarierilor.

Caracteristicile aparatului sînt următoarele :

Baza coordimetrului	300	mm
Lungimea pîrghiei	312	mm
Zona de măsurare este în interiorul unui cerc cu diametrul	30	mm
Precizia	0,05	mm

Principiul de funcționare este următorul :

Pe baza $A_1 A_2$, construită din oțel invar, pentru a se evita pe cît posibil influența temperaturii, de lungime $b = (300 - c) + c$ (fig. 23), lucrează două pîrghii b_1 și b_2 care se întîlnesc în punctul P .

Deplasarea S a punctului P în P_1 conduce la modificarea unghiurilor β_1 și β_2 . Coordimetrul ne arată mărimea și direcția deplasării $S = P P_1$.

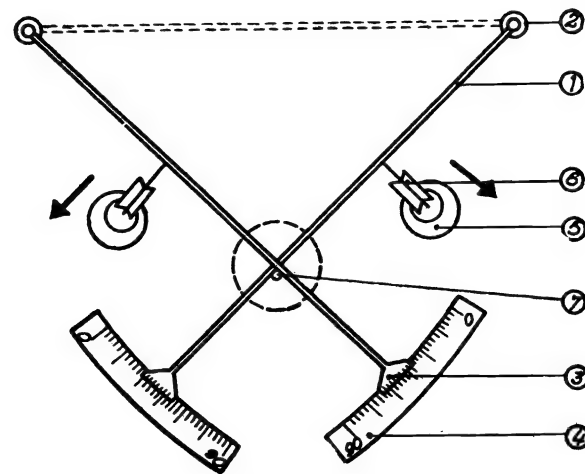


Fig. 21. — Schema coordimetrului.

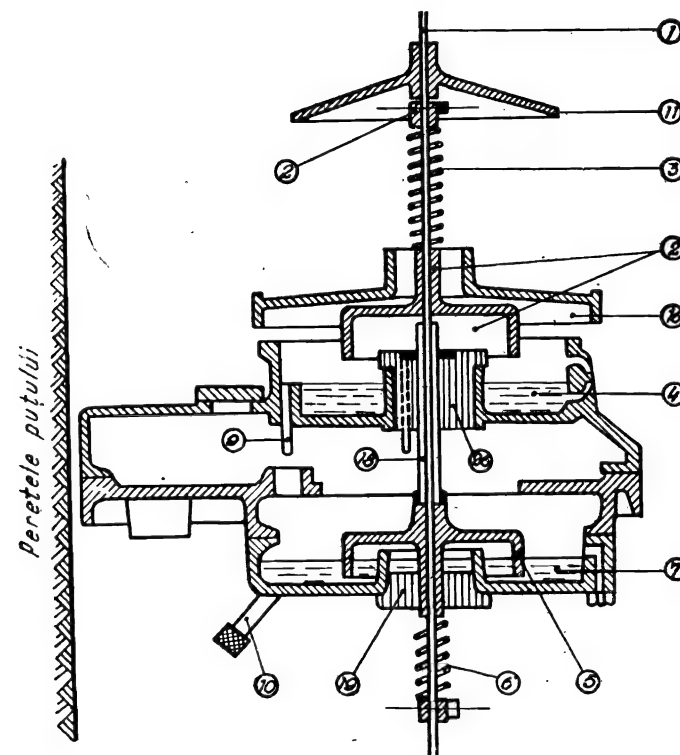


Fig. 22. — Secțiune prin coordimetrul Huggenberger.

Ceea ce ne interesează sînt componentele x și y ale acestei mișcări, care pot fi determinate după cum urmează:

Aparatul se poate monta astfel încît pîrghiile b_1 și b_2 să fie în așa-numita, poziție de zero, formînd cu baza $A_1 A_2$ unghiurile $\beta_1 = \beta_2 = 45^\circ$.

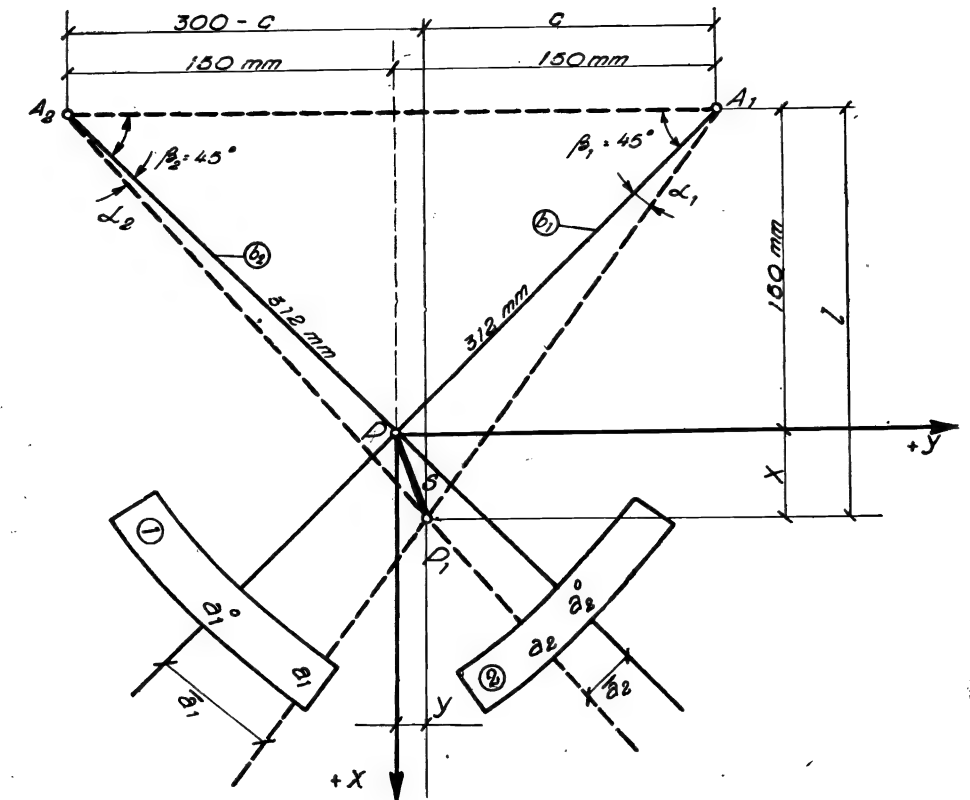


Fig. 23. — Schema de calcul a coordimetrului.

În această poziție $x = y = 0$, iar la scările 1 și 2 citim valorile a_1 și a_2 .

Prin deplasarea punctului P în P_1 cu distanța S , pîrghiile se rotesc din poziția de zero cu unghiurile α_1 și α_2 , iar la scările 1 și 2 citim valorile a_1 și a_2 .

Dacă notăm cu \bar{a}_1 și \bar{a}_2 diferența dintre valorile citate, atunci avem

$$\left. \begin{aligned} \bar{a}_1 &= a_1 - a_1^0, \\ \bar{a}_2 &= a_2 - a_2^0. \end{aligned} \right\} \quad (21)$$

Din figura 23 rezultă

$$\left. \begin{aligned} l &= (300 - c) \operatorname{tg} (45^\circ + \alpha_2), \\ l &= c \operatorname{tg} (45^\circ + \alpha_1), \end{aligned} \right\} \quad (22)$$

deci

$$(300 - c) \operatorname{tg} (45^\circ + \alpha_2) = c \operatorname{tg} (45^\circ + \alpha_1),$$

adică

$$300 \frac{1 + \operatorname{tg} \alpha_2}{1 - \operatorname{tg} \alpha_2} = c \left(\frac{1 + \operatorname{tg} \alpha_2}{1 - \operatorname{tg} \alpha_2} + \frac{1 + \operatorname{tg} \alpha_1}{1 - \operatorname{tg} \alpha_1} \right),$$

din care se scoate valoarea lui c

$$c = \frac{300 \frac{1 + \operatorname{tg} \alpha_2}{1 - \operatorname{tg} \alpha_2}}{\frac{1 + \operatorname{tg} \alpha_2}{1 - \operatorname{tg} \alpha_2} + \frac{1 + \operatorname{tg} \alpha_1}{1 - \operatorname{tg} \alpha_1}} = \frac{300 (1 + \operatorname{tg} \alpha_2) (1 - \operatorname{tg} \alpha_1)}{2 - 2 \operatorname{tg} \alpha_1 \cdot \operatorname{tg} \alpha_2}. \quad (23)$$

Dacă se înlocuiește $\operatorname{tg} \alpha = \frac{\bar{a}}{312}$ în ecuația (23), se obține

$$c = \frac{300 \left(1 + \frac{\bar{a}_2}{312} \right) \left(1 - \frac{\bar{a}_1}{312} \right)}{2 \left(1 - \frac{\bar{a}_1 \bar{a}_2}{312^2} \right)}. \quad (24)$$

În urma efectuării operațiilor, se înlocuiește valoarea aflată în ecuațiile

$$\left. \begin{aligned} x &= l - 150, \\ y &= 150 - c \end{aligned} \right\} \quad (25)$$

și se obține

$$\left. \begin{aligned} x &= \frac{150 \left(1 + \frac{\bar{a}_2}{312} \right) \left(1 - \frac{\bar{a}_1}{312} \right)}{1 - \frac{\bar{a}_1 \bar{a}_2}{312^2}} \times \frac{1 + \frac{\bar{a}_1}{312}}{1 - \frac{\bar{a}_1}{312}} - 150, \\ y &= 150 - \frac{150 \left(1 + \frac{\bar{a}_2}{312} \right) \left(1 - \frac{\bar{a}_1}{312} \right)}{1 - \frac{\bar{a}_1 \bar{a}_2}{312^2}}. \end{aligned} \right\}$$

După efectuarea operațiilor se scot valorile lui x și y sub forma

$$\left. \begin{aligned} x &= 150 \frac{312 (\bar{a}_1 + \bar{a}_2) + 2 \bar{a}_1 \bar{a}_2}{312^2 - \bar{a}_1 \bar{a}_2}, \\ y &= 150 \frac{312 (\bar{a}_1 - \bar{a}_2)}{312^2 - \bar{a}_1 \bar{a}_2}, \end{aligned} \right\} \quad (26)$$

care permit determinarea deplasărilor pe direcția axelor de coordonate.

Pentru ușurință, se poate întocmi un transformator grafic.

b. *Firul de oțel.* Firul utilizat la instalația pendulară este din oțel inoxidabil sau din invar, avînd o limită de elasticitate de minimum 65 kg/mm² și o rezistență la rupere de 160–180 kg/mm². Diametrul firului este de 2,5 mm.

c. *Dispozitivul de suspendare a firului de oțel.* Dispozitivul de suspendare F a firului de oțel (fig. 24) constă dintr-un lagăr cilindric 1, închis într-o cutie 2. În renura cilindrului este înfășurat firul de sîrmă f care are la capăt greutatea g .

Cilindrul se sprijină pe o placă postament 3 care, prin intermediul a două bride 4, se fixează de cei doi suporturi 5 confecționați din fier profilat I care sînt îmbetonați în peretele puțului.

Cutia 2 este destinată protecției împotriva picăturilor de apă.

În cazul cînd sînt posibile variații importante de temperatură în puț, suportii 5 trebuie prevăzuți cu cîte un termometru, astfel ca deplasările măsurate să poată fi corectate.

d. *Dispozitivele de fixare intermediară a firului de oțel.* Dispozitivele de fixare intermediară a firului de oțel sînt de două tipuri (fig. 24). Dispozitivul de tipul I servește la fixarea în mod continuu a firului de oțel și se montează la circa 25 cm sub dispozitivul de suspendare F .

Placa de fixare 6 a tipului I se fixează prin intermediul bridelor 7, de suportul 8, confecționat din fier profilat I.

Dispozitivul de tipul II servește pentru fixarea firului de oțel la nevoie. Acest dispozitiv se compune din: placa mobilă 9 și din placa postament 10, care se fixează pe suportul II confecționat de asemenea din fier profilat I.

Firul de sîrmă f trece prin mijlocul unei renuri semicirculare a plăcii mobile și se fixează cu ajutorul unui șurub.

După efectuarea măsurătorii, placa 9 se readuce în poziția inițială, liberîndu-se astfel firul de oțel pentru punctul de fixare următor. Și aceste dispozitive sînt protejate cu un capac contra picăturilor de ploaie.

e. *Greutatea.* Greutatea ce se atașează firului de oțel (fig. 25) se compune din elemente de fontă sau beton confecționate în forme de discuri, cu următoarele dimensiuni: diametrul 350 mm, grosimea 29 mm, greutatea unei plăci aproximativ 20 kg.

Placa inferioară are un orificiu de 15 mm, iar celelalte plăci o tăietură radială cu o lățime de 16 mm.

Greutatea totală ce se adaugă este în funcție de rezistența firului și se alege între 200–250 kg. Se va avea în vedere că, cu cît greutatea este mai mare, cu atît și exactitatea de măsurare este mai mare.

Greutatea se leagă de firul de oțel prin intermediul dispozitivului de prindere din figura 25.

f. *Montarea pendulului.* Pentru fixarea diferitelor dispozitive ale coordimetrului se folosesc profile I 10, care trebuie îmbetonați în peretele vertical al puțului.

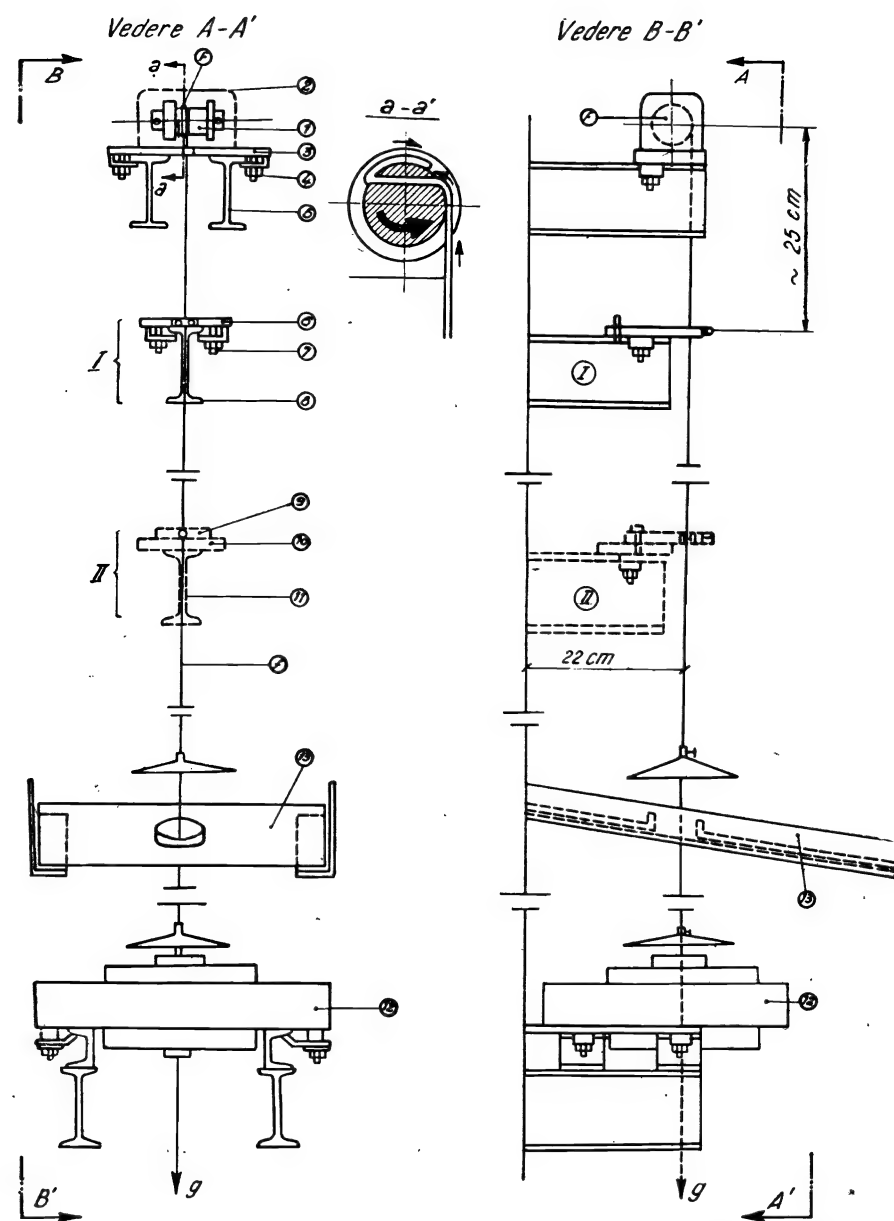


Fig. 24. — Schema de montare a firului și coordimetrului Huggenberger.

Lianții utilizați pentru fixarea profilelor trebuie să prezinte proprietatea de a nu-și schimba volumul în timpul procesului de hidratare, astfel încât să existe siguranța că nu se va produce o slăbire în decursul timpului.

Dispozitivul de fixare intermediară de tipul I se montează la circa 25 cm sub dispozitivul de suspendare *F* (fig. 24). Planul de așezare al coordimetrului 12 trebuie așezat cât mai jos, pentru ca pendulul să aibă o înălțime mare. Pentru o citire comodă se va lăsa de la baza coordimetrului până în fundul puțului o înălțime de cel puțin 110 cm.

Coordimetrul va fi protejat contra eventualelor căderi de piatră prin acoperișul de protecție 13 din tablă striată galvanizată, așezat la circa 80 cm deasupra coordimetrului.

Acoperișul de protecție are dimensiunile de 50 × 50 cm înclinat cu un unghi

$$\alpha = 15^\circ.$$

După ce suportii sînt fixați în beton, se începe montarea diferitelor dispozitive.

Firul de oțel se va introduce în cilindrul 1 conform detaliului *a-a'* (fig. 24). În prealabil se anexează la capătul celălalt al firului o greutate de circa 20 kg (fig. 26), cu scopul de a se ține firul întins în timpul montajului.

Această încărcare provizorie se compune din două piese metalice 1, prinse prin șuruburile 2.

Firul de sîrmă trece prin deschizătura 3 care este cu 1/10 mm² mai mică decât diametrul sîrmei. În orificiile 4 se fixează greutățile 5 de 10 kg, care permit păstrarea firului întins.

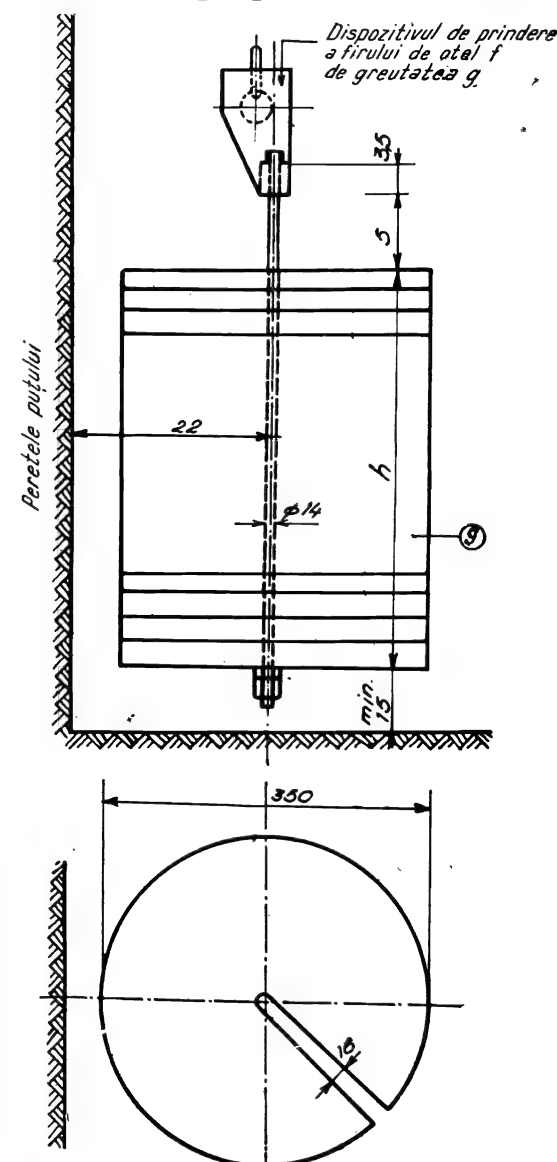


Fig. 25. — Greutatea instalației de pendulare.

Suspendarea firului se va dispune în așa fel ca distanța pînă la peretele puțului să fie de circa 22 cm.

Apoi capătul firului de oțel se introduce prin coordimetru (fig. 22), după ce în prealabil s-au îndepărtat bucățile de lemn 19 și 26 și se va fixa de dispozitivul de prindere (fig. 25).

Detaliile de prindere, dimensiunile între suporturi, legăturile, dimensiunile știfturilor de prindere, modul de manipulare etc. sînt date prin instrucțiuni de firma constructoare o dată cu livrarea aparatului.

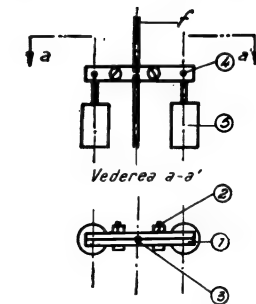


Fig. 26. — Greutatea provizorie pentru întinderea firului.

g. Modul de măsurare. Poziția coordimetrului obținută după întărirea betonului va fi considerată ca poziție inițială pentru măsurători.

În mod normal, aparatul are la dispoziție pentru măsurarea deplasării maxime probabile un spațiu de circa 30 mm, într-un sens și de circa 20 mm în celălalt sens.

În cazul cînd se așteaptă deplasări mai mari spre aval, spațiul se poate regla la circa 40 mm, iar înspre amonte la numai circa 10 mm.

Măsurarea deplasării se va face în modul următor :

Se atinge foarte ușor firul pendulului, verificîndu-se dacă coordimetrul reacționează sensibil și se observă cele două cadrane. După ce coordimetrul a intrat din nou în poziția de repaus se execută citirea cu ajutorul unei lupe. Se fixează firul de sîrmă, plecînd treptat de la punctul de rotație superior și citind pe coordimetru deviația. Placa de fixare a punctului de rotație următor se îndepărtează, pentru ca firul să fie liber. Repetarea acestei operații va da o a doua serie de citiri. Diferența celor două rezultate de măsurători este deplasarea căutată în punctul de rotație considerat. Pentru precizia determinării celor două componente ale deplasării, se recomandă a monta pe coordimetru un clinometru care indică modificarea unghiului de înclinare a suprafeței plane de măsurare.

3. Pendulul simplu Metra-Frič

Scopul, principiul de măsurare și schema de funcționare a acestui pendul sînt asemănătoare celor de la coordimetrul Huggenberger. La acest pendul deosebim de asemenea următoarele părți componente :

firul de sîrmă ;
dispozitivul de suspendare ;
greutatea ;
masa și aparatura de citire.

În figura 27 a, b și c se redă schematic poziția ce o ocupă în puț pendulul simplu împreună cu părțile componente ale aparatului de citire.

Firul de sîrmă 2 al pendulului Metra-Frič are diametrul de 0,6 mm. El se prinde de dispozitivul de suspendare 1, iar citirea deviației se face la masa de citire 3, prevăzută cu un aparat optic 4 portativ (fig. 27 c).

Deoarece la pendulul simplu, metoda de citire este optică, pentru care nu mai este necesară atingerea firului, printr-un mecanism indicator ca la coordimetru, este suficientă o greutate 5 de circa 20—70 kg de formă cilindrică.

Pentru a se evita apariția oscilațiilor nedorite ale firului 2, greutatea 5 este cufundată într-o baie de ulei a vasului 6 fiind înzestrată tot-

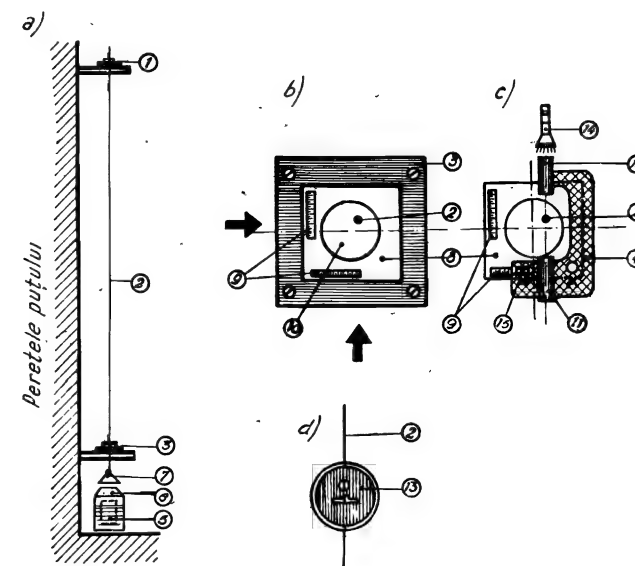


Fig. 27. — Instalația pendulului și părțile componente. Aparatul de citire Metra-Frič.

toată cu aripioare, care să permită o stabilizare mai rapidă a firului. Vasul de ulei este prevăzut cu un indicator de ulei și cu un ventil de golire.

Capacul de protecție 7 servește pentru devierea eventualelor picături de apă.

Se recomandă ca în puțuri cu diametrul mic, firul pendulului să fie protejat printr-un tub metalic.

Masa de citire 3 (fig. 27 b) este înzestrată cu o placă de oțel 8, prevăzută cu două scale gradate 9 pentru citirea deviației pe două direcții și cu un orificiu 10 cu diametrul de 12 cm prin care trece firul de sîrmă 2. Citirea se face optic prin intermediul cilindrilor metalici 11 și 12 (fig. 27 c). Cilindrul 11 este prevăzut cu un ocular, iar tubul cilindric 12 este înzestrat cu o sticlă mată 13 prevăzută cu două orificii prin care se vede poziția firului de sîrmă 2 (fig. 27 d).

În timpul citirii, tubul cilindric 12 este luminat de o lanternă 14.

Pentru citirea zecimilor de milimetri, aparatul este prevăzut cu un vernier 15.

Dispozitivul 4 este demontabil și deservește și celelalte instalații pendulare.

Pentru montarea pendulului în golurile special amenajate în perețele puțului (fig. 28) se introduc console din profile [atât la dispozitivul de suspendare a firului 1 cât și la masa de citire 3. Pentru a păstra distanța exactă între cele două ramuri ale consolei, se sudează la partea lor inferioară o placă de metal 4.

Se recomandă ca înainte de a îmbetona consola mesei de citire, aceasta să fie sudată pe consolă.

Instalarea firului și a dispozitivelor de prindere se începe după întărirea betonului din jurul consolelor.

Un capăt al firului de sîrmă 2 trece prin orificiul plăcii 5 și este fixat de dispozitivul 1. Celălalt capăt se lasă în jos, se prinde de greutatea 7 și se fac legăturile necesare.

Se fixează masa de citire 3 pe suportii 6, asigurîndu-i-se o poziție orizontală.

Se centrează firul de la dispozitivul 1 de suspendare.

Se umple cilindrul 9 cu glicerină sau ulei 10, astfel ca stabilizatorul (greutatea cilindrică 7 cu aripioarele 8) să fie complet în ulei.

În figura 28 se dau două vederi ale schemei de montare a pendulului simplu Metra-Frič, precum și vederea mesei de citire, totodată se indică dimensiunile ce trebuie adoptate pentru golurile de beton, pentru consolele de susținere, pentru distanța optimă a firului față de perețele puțului, pentru masa de citire etc.

Distanțele sînt date în centimetri.

La utilizarea aparatului se va ține seama de următoarele reguli (pentru claritate se va urmări figura 27 a, b, c și d).

- Citirile se fac numai cînd firul este liniștit.
- Firul de sîrmă nu trebuie să atingă marginea orificiului 10.
- Aparatul de citire 4 trebuie să se poată deplasa ușor pe marginea mesei de citire. Deplasarea trebuie făcută cu multă prudență.
- Tubul cilindric 12 trebuie luminat cu lanterna 14.
- Citirea se face numai în momentul cînd firul ocupă poziția indicată în figura 29. Pentru aceasta aparatul se deplasează pînă cînd firul de sîrmă vine și ocupă poziția de centru atît în deschiderea cercului cât și a triunghiului practică în sticla mată fixată în tubul cilindric 12.
- Înaintea fiecărei citiri aparatul 4 se apasă marginal, astfel încît să existe o bună păsuire între marginea de contact a aparatului de citire și cea a mesei suport.
- Valoarea coordonatelor citite trebuie trecută în formulare.
- Toate operațiile se repetă și pe cealaltă direcție.

Deci deplasarea firului se obține prin fixarea poziției cu ajutorul a două citiri (fig. 30).

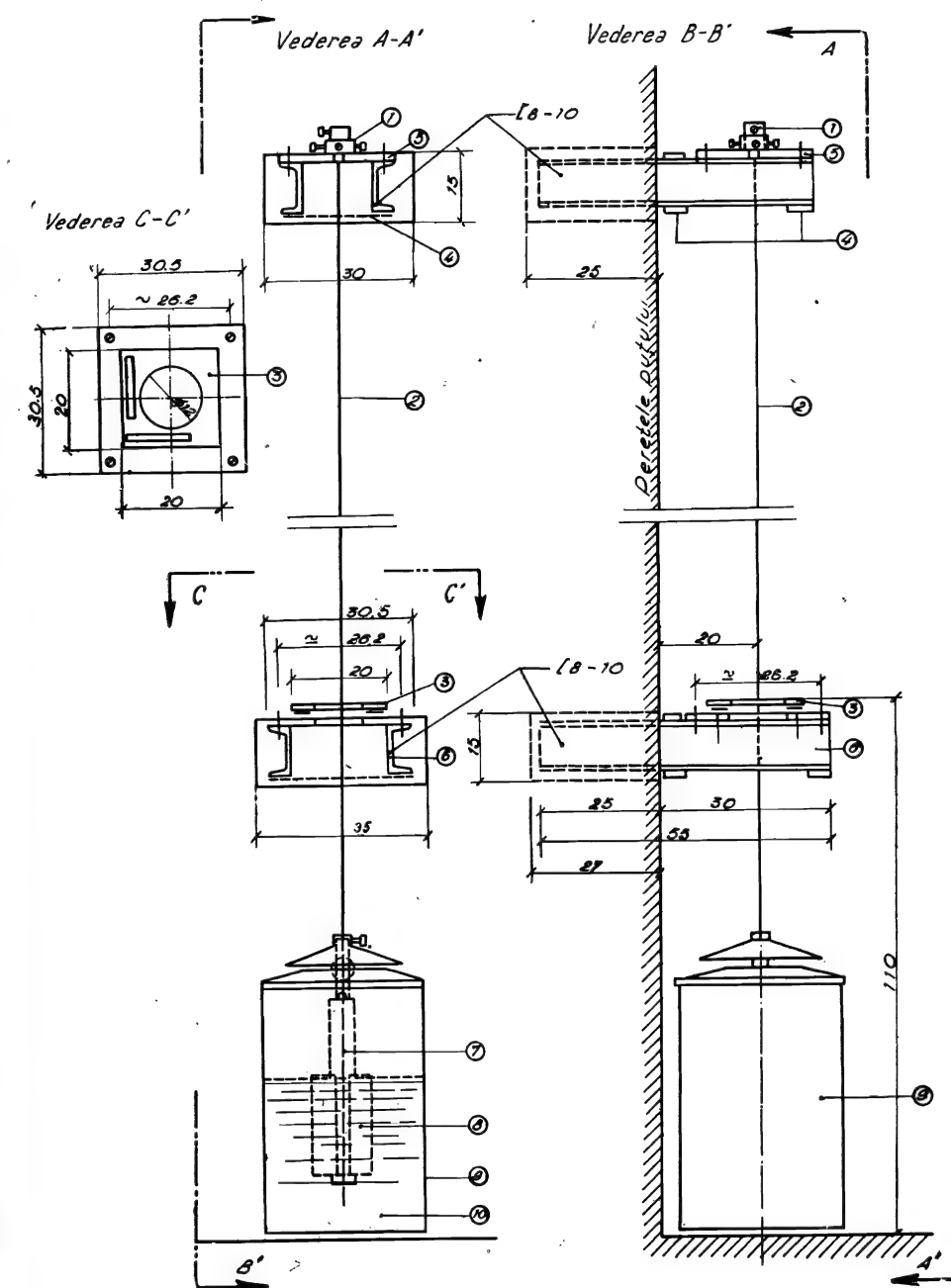


Fig. 28. — Schema de montare a pendulului simplu Metra-Frič.

La poziția I a firului de sîrmă se face citirea pe cele două scări și se obține IC_1 și IC_2 . Firul ocupă apoi poziția n . În această poziție se face citirea nC_1 și nC_2 .

Valoarea deplasării este dată de relația

$$\left. \begin{aligned} I C_1 - n C_1 &= R_1, \\ I C_2 - n C_2 &= R_2. \end{aligned} \right\} \quad (27)$$

Cu ajutorul valorilor obținute se întocmesc grafice din care se poate urmări variația deplasării blocurilor de beton în funcție de presiunea

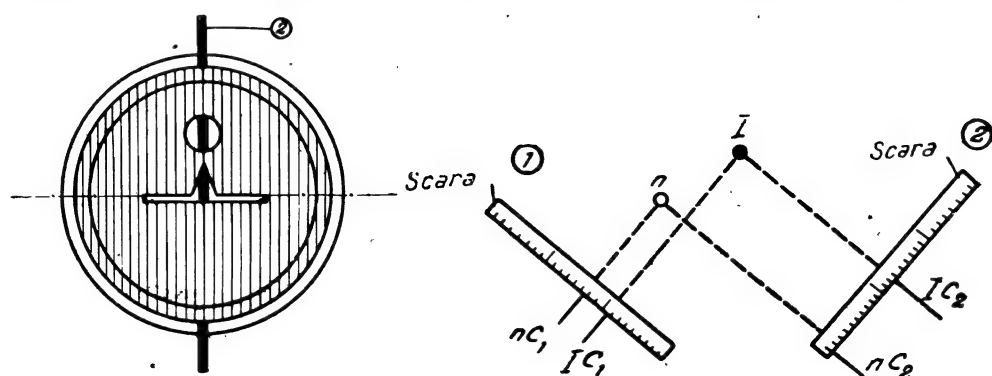


Fig. 29. — Vedere a firului de sîrmă la orificiile practicate în sticla mată.

Fig. 30. — Citirea la scara gradată în două poziții diferite a firului pendului.

hidrostatică a apei din lacul de acumulare, de variațiile de temperatură datorită exotermiei betonului și de tasările provenite din greutatea construcției și a apei din bazinul de retenție.

4. Pendulul invers cu plutitor

Pendulul invers cu plutitor servește pentru măsurarea deviațiilor rocii de fundație atât pe verticală cît și pe orizontală.

Schema unui pendul invers cu plutitor reiese din figura 31 în care cilindrul metalic 1, avînd diametrul de circa 50 cm și înălțimea de 140 cm, se prinde etanș de tubul metalic 2 ce are diametrul de 18 cm și care se introduce în puțul 3, forat într-o galerie de control a etajului inferior al unui baraj cu un diametru de cel puțin 20 cm.

Etanșeitatea între cilindru și tub este garantată prin guma de etanșizare 4.

După cum reiese și din figura 31, cilindrul se încastrează prin intermediul consolelor 5 din profile [6÷8 în peretele galeriei, iar cu partea inferioară în baza galeriei de control.

Interiorul tubului 2 și al cilindrului 1 se menține în permanență plin cu apă. În această apă plutește plutitorul 6 prevăzut la partea supe-

rioară cu un dispozitiv de prindere 7 a unei rigle gradate 8 pe care se citesc deviațiile la masa de citire 9.

Firul de sîrmă 10 leagă plutitorul 6, prin intermediul unui cîrlig 11, de greutatea 12 prin care plutitorul este fixat de fundul forajului. Greutatea 12 se așază pe un strat de beton 13.

Prin tasarea terenului de fundație 14 deplasările rezultate se citesc la masa de citire 9.

La montarea pendulului pe lîngă o execuție de bună calitate se va ține seama și de următoarele:

Forajul în care se introduce pendulul invers cu plutitor trebuie să fie pe cît posibil perfect vertical, în caz contrar firul de sîrmă va atinge marginea tubului de foraj.

Adîncimea de forare se ia pînă în zona în care terenul de fundație nu mai este supus influențelor sarcinilor exterioare. Practic se ia minimum jumătate din înălțimea construcției $\frac{H}{2}$.

Instalația cilindru-tub trebuie să fie plină cu apă, pentru ca flotorul să plutească în permanență.

Apa din interiorul forajului trebuie să nu fie antrenată în nici o mișcare; ea trebuie să fie perfect liniștită.

Etanșeitatea dintre cilindru și tub trebuie să fie perfectă pentru a nu exista scurgeri de apă.

Rigla gradată a plutitorului trebuie să fie după montarea pendulului în interiorul mesei de citire, adică în orificiul 10 (fig. 27).

În figura 32 a, b și c, se dă schema de funcționare a pendulului invers cu plutitor.

Ca urmare a presiunii hidrostatice a greutății apei din bazinul de acumulare și a greutății barajului, vor apare tasări ale terenului de fundație.

Din poziția inițială (fig. 32 a), barajul poate să primească deplasarea d (fig. 32 b), sau tasarea v (fig. 32 c).

Atît deplasarea d cît și tasarea v pot fi puse în evidență cu ajutorul pendulului invers cu plutitor.

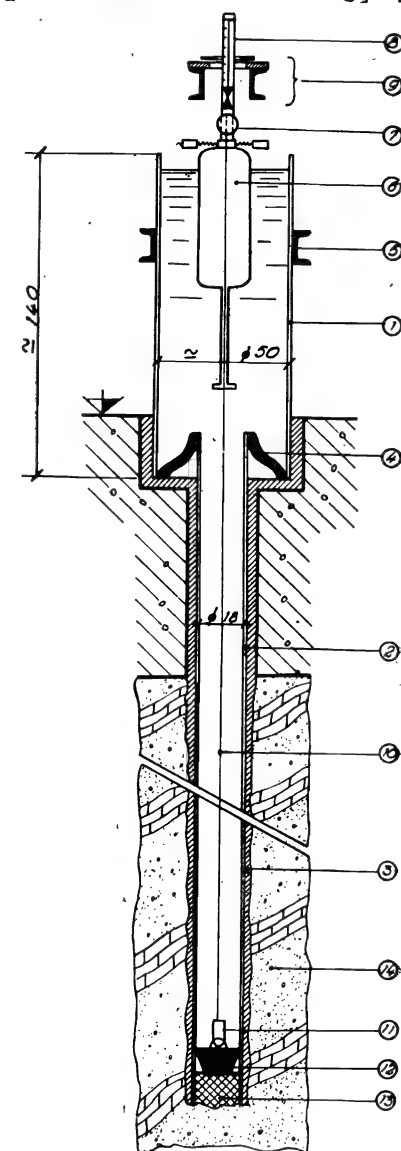


Fig. 31. — Schema pendulului invers plutitor.

Modul de deformare se poate urmări din figura 32.
Aparatul de citire este identic ca la pendulul simplu Metra-Frič.
Până în prezent acest pendul a fost instalat la diferite baraje din Republica Cehoslovacă.

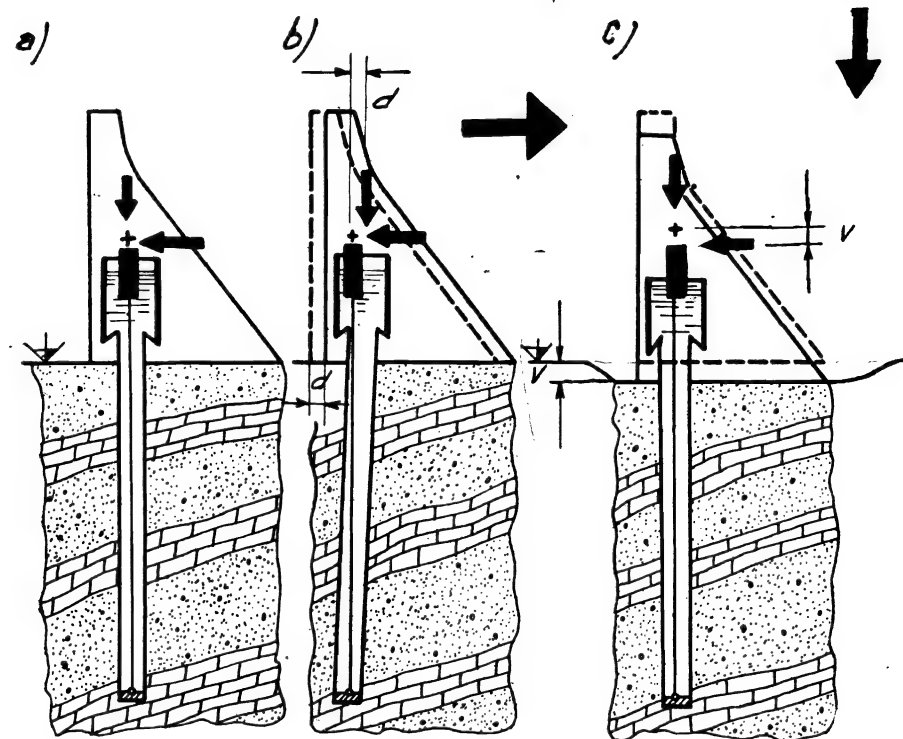


Fig. 32. — Schema de funcționare a pendulului invers cu plutitor.

5. Pendulul diferențial

Pendulul diferențial are scopul de a înlocui atât pendulul simplu, cât și cel invers cu plutitor.

§ 11. ÎNGRIJIREA INSTALAȚIILOR PENDULARE

- 1) Aparatele de citire se protejează printr-un acoperiș din tablă striată galvanizată, așezat la circa 70—80 cm de la baza aparatului de citire.
- 2) Peste masa de citire la pendulul simplu și la cel invers cu plutitor se pune o protecție din scindură.
- 3) Placa de oțel a mesei de citire se unge cu vaselină, de asemenea și aparatul de citire la partea de contact cu masa de citire.

4) Instalația de citire este accesibilă numai persoanelor care se ocupă cu efectuarea măsurărilor.

5) La eventualele lucrări sub pendul se va avea grijă ca cilindru cu ulei sau greutatea coordimetrului să nu fie mișcată din poziția de repaus, ceea ce ar produce oscilația firului de sîrmă, a cărui amortizare se face extrem de încet.

6) Toate dispozitivele care nu sînt din material inoxidabil trebuie tratate contra ruginii prin zincare. În acest caz se asigură o rezistență mare la influențele atmosferice, ceea ce este absolut necesar pentru măsurătorile care se întind pe perioade lungi.

7) Toate dispozitivele trebuie bine dimensionate pentru a se obține un coeficient mare de siguranță în timpul exploatării.

8) La atașarea greutății de firul de oțel se va avea în vedere ca încărcarea să nu se facă brusc.

C. MĂSURAREA DEFORMAȚIILOR SUPRAFETELOR

§ 12. SCOPUL MĂSURĂTORILOR

Cu ajutorul acestor măsurători se stabilesc lungimile, respectiv scurtările dintre două puncte situate pe o suprafață ca rezultat al deformății suprafeței în următoarele cazuri:

- 1) Cînd ambele puncte sînt situate pe același bloc, determinăm deformăția suprafeței ca rezultat al stării de tensiune sau compresiune.
- 2) Cînd punctele sînt situate pe două blocuri diferite, stabilim deplasarea relativă dintre blocuri.
- 3) Cînd punctele intercalează rosturi de lucru sau fisuri, determinăm variația distanței ce se creează în asemenea cazuri.

§ 13. DESCRIEREA ȘI CARACTERISTICILE DE BAZĂ ALE APARATULUI

Aparatul utilizat pentru aceste măsurători este deformetrul Huggenberger.

Deformetrul (fig. 33 și III) se compune din două bare 1 din invar de profil U. Fiecare bară este prevăzută cu un cap de sprijin A respectiv B care este un vîrf conic din oțel călit și șlefuit și care are un unghi de deschidere de 30°.

Distanța între vîrfuri este egală cu lungimea de măsurare l .

Barele 1 sînt legate prin două lamele flexibile 2 care asigură o mișcare numai în sens longitudinal, adică în direcția celor două puncte de așezare A și B. Această deplasare longitudinală care, este identică cu lungirea sau scurtarea Δl a lungimii de măsurare l , se transmite microcomparatorului C.

Cadranul microcomparatorului C este împărțit în următoarele diviziuni, 6 are de la 0 la 100 intervale, 7 de la 0 la 10 intervale, iar 8 de la 0 la 2 intervale.

Deformetrul mai este prevăzut cu un șurub fixător de distanță S , cu ajutorul căruia se reglează domeniul de măsurare pentru tensiuni sau compresii, după cum indică semnul (+) sau (-) gradat pe aparat.

Prin alegerea potrivită a materialului de construcție din care se execută vârful știftului, se compensează influența variației temperaturii aparatului de măsurare.

Deformetrul se execută în lungimi de măsurare de 254 sau 508 mm. Există aparate executate cu lungimi și mai mari de 750 și 1 000 mm.

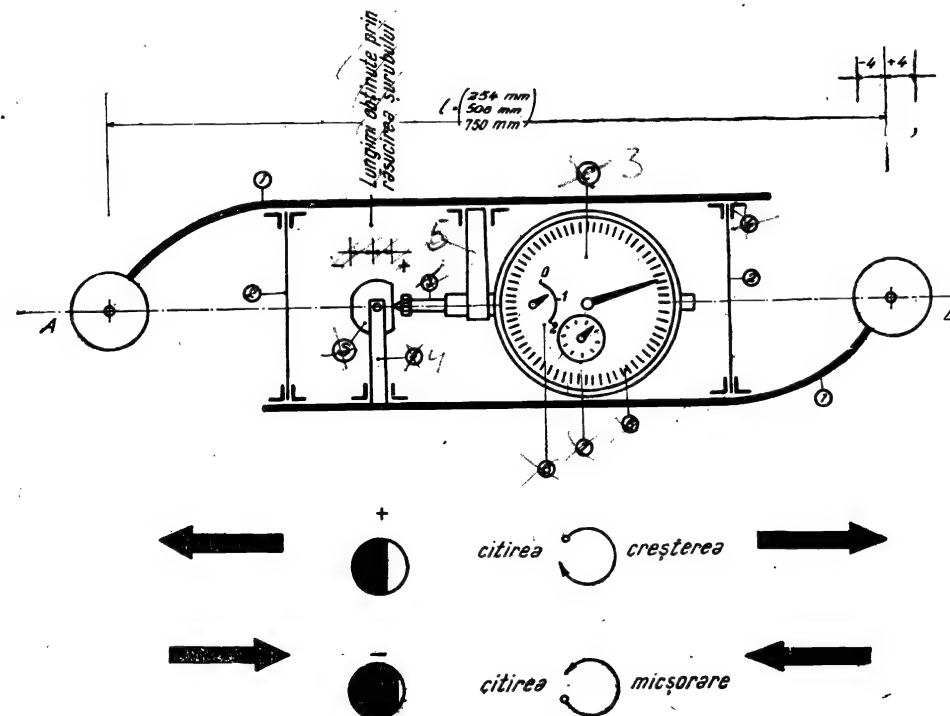


Fig. 33. — Deformetrul.

Acestea se manipulează însă greu și se utilizează numai în cazuri speciale. Când deformetrul nu se folosește, se închide aparatul cu un cârlig, pentru a se evita deteriorarea lui.

Caracteristicile de bază ale deformetrului sînt următoarele:

- | | |
|------------------------|--------------------------|
| — domeniul de măsurare | ± 4 mm; |
| — lungimea de execuție | $l = 254; 508$ mm etc; |
| — greutatea | $800 \div 1\,100$ g etc; |
| — precizia | $1/1\,000$ mm. |

Țechipamentul necesar măsurării constă dintr-un deformetru, un distanțier cu chernere, un burghiu spiral cu cinci mărimi de burghie, un

alezor, un ciocan, două chernere de rezervă și un dispozitiv din invar pentru etalonare.

Distanțierul cu două chernere, burghiul spiral și alezorul se folosesc pentru determinarea variației lungimii de măsurat la construcțiile metalice.

Ca material accesoriu mai sînt soclurile din metal ce vin îmbetonnate în suprafața de măsurat (fig. 34). Soclul din metal 1 are ca protecție o piuliță din alamă 2. La capătul soclului 1 se găsește o bucă 3 din oțel călit și polizat, din centrul căruia se scoate un con cu diametrul de 1,6 mm, în care se introduce vârful A, respectiv B al deformetrului.

Unghiul de con este de 60° . Soclul fără piuliță are $h = 8$ cm și o secțiune de 2×2 cm.

Pentru îmbetonarea soclurilor din metal, se procedează în felul următor:

Mai întîi se fixează un soclu în suprafața de măsurat (fig. 34). Se umple golul rămas cu un mortar de ciment și se așteaptă pînă masa turnată se întărește.

Ca liant se folosește de obicei ciment portland amestecat cu nisip în raportul 1 : 2 și în general orice liant cu priză rapidă.

Soclul fixat servește ca punct de sprijin distanțierului pentru fixarea poziției celui alt soclu.

Trebuie să se aibă în grijă ca axele soclurilor să fie paralele și verticale pe lungimea de măsurare.

Aceste socluri servesc ca puncte de sprijin ale așezării deformetrului.

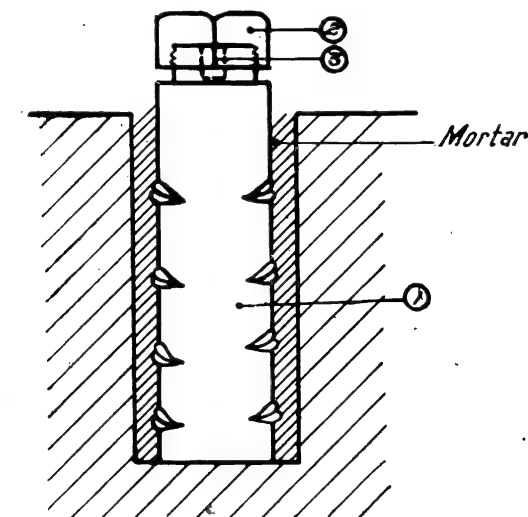


Fig. 34. — Soclul deformetrului.

§ 14. LOCUL DE AMPLASARE, ORDINEA DE AȘEZARE ȘI METODA DE MĂSURARE

Măsurătorile cu deformetrul se fac la exterior, în punctele accesibile ca: pereții galeriilor de control, pereții puțurilor, pe parametrul aval, coronamentul barajelor etc.

Din experiență s-a dedus că pentru a avea o imagine de ansamblu a deformațiilor suprafețelor, trebuie făcute măsurători în serie.

În figura 35 este redată schema măsurătorilor în serie.

Pe lângă măsurători în serie, în vederea determinării alungirilor plane și ca urmare la calcularea tensiunilor se folosesc și măsurători în rozetă, cu minimum trei direcții de măsurare.

Instalarea unei a patra direcții de măsurare are avantajul de a permite verificarea valorilor măsurate.

Unghiul între direcțiile de măsurare se ia de preferință de 45° .
În figura 36 se redă schema de amplasare a soclurilor în acest caz.

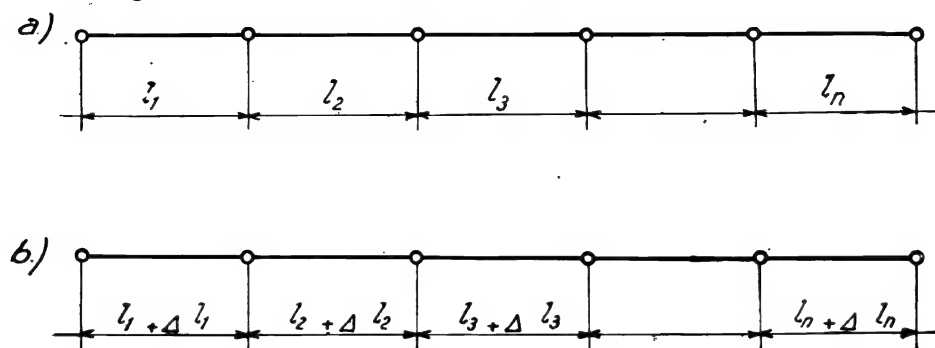


Fig. 35. — Schema măsurătorilor în serie.

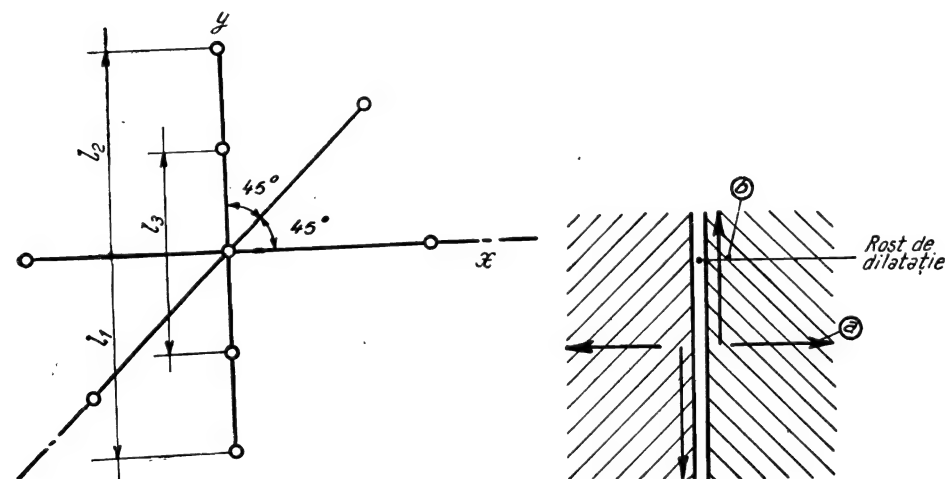


Fig. 36. — Schema măsurătorilor în rozetă.

Fig. 37. — Posibilitatea de măsurare în rosturile de dilatație cu ajutorul deformetrului.

În cazul când se studiază mișcarea relativă dintre două blocuri cu ajutorul deformetrului avem două cazuri posibile (fig. 37), sau blocurile se îndepărtează adică apar deformații orizontale (a) sau blocurile se deplasează pe verticală, adică apar tasări (b).

În vederea studierii deplasărilor pe orizontală, soclurile deformetrului se îmbetonează ca în figura 38 a, adică jumătate din lungimea de măsurare l a deformetrului să fie pe un bloc și jumătate pe celălalt bloc de beton.

Direcția lungimii de măsurare l cu direcția rostului de dilatație la îmbetonarea soclurilor trebuie să facă 90° .

În cazul deplasărilor pe verticală, soclurile se amplasează în triunghi ca în figura 38 b. Se va avea în vedere ca întotdeauna la amplasare o

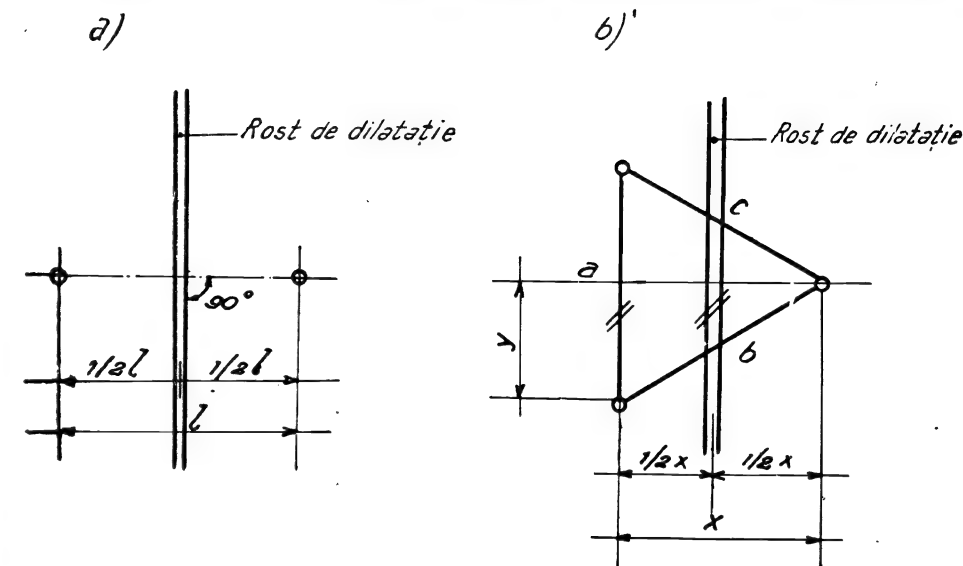


Fig. 38. — Schema măsurătorilor la un rost de dilatație.

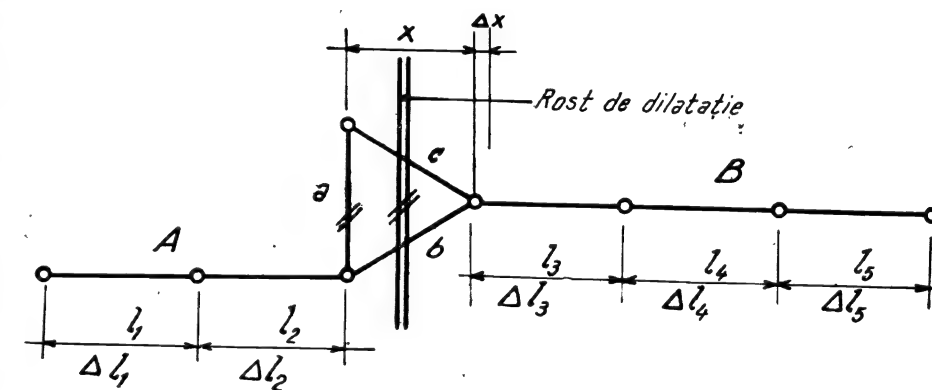


Fig. 39. — Schema unei combinații de măsurători la un rost de dilatație.

latură a triunghiului să fie paralelă cu direcția rostului de dilatație.

Se pot face și diverse combinații în modul de amplasare al soclurilor. Aceste combinații sînt în funcție de scopul urmărit și mărimea suprafeței de studiat.

În figura 39 se redă schema unei combinații frecvent utilizate în tehnica măsurătorilor cu ajutorul deformetrului.

O bază de măsurare nu trebuie să depășească maximum șapte puncte.

Metoda de măsurare utilizată prevede măsurători comparative. De aceea, înainte de măsurarea deformației pe suprafața respectivă se execută o măsurătoare pe dispozitivul de verificare.

Rezultatul efectiv al măsurătorii este atunci diferența dintre citirea făcută pe dispozitivul de verificare și suprafața examinată.

Pe baza măsurătorilor efectuate cu ajutorul dispozitivului de verificare se poate oricând aprecia dacă aparatul este sau nu în stare bună de funcționare.

Dacă dispozitivul de verificare este construit dintr-un material având același coeficient de dilatare termică ca și betonul, valoarea alungirii trebuie atribuită tuturor acelor cauze ce nu provin din variația de temperatură.

§ 15. ÎNREGISTRAREA, CALCULUL ȘI VALORIFICAREA MĂSURĂTORILOR

Valoarea arătată de microcomparatorul C (fig. 33) corespunde scurtării sau alungirii Δl a distanței de măsurare l .

Modificarea specifică a dilatației sau contracției se calculează din formula

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}. \quad (28)$$

Dacă se cunoaște modulul de elasticitate E al materialului de construcție, tensiunea normală rezultă din legea lui Hooke

$$\sigma = \varepsilon E. \quad (29)$$

Dacă

- l_1 = lungimea normală a deformetrului,
- C_n = citirea ultimă la aparat,
- C_{n-1} = citirea făcută prima dată, considerată a fi citire de bază, corespunzătoare stării de întindere (+),
- C'_{n-1} = ca mai sus, dar corespunzătoare stării de compresiune (-), rezultă relațiile

$$\left. \begin{aligned} l^+ &= l_1 + (C_n - C_{n-1}) 0,00254, \\ l^- &= l_1 + (C'_{n-1} - C_n) 0,00254, \end{aligned} \right\} \quad (30)$$

care ne dau valoarea măsurată a lungimii totale $l \pm \Delta l$.

Valoarea 0,00254 exprimată în milimetri este deplasarea corespunzătoare distanței dintre două diviziuni arătate de arătătorul mare al microcomparatorului.

Pentru a se obține o precizie cât mai mare se face media aritmetică a cât mai multor măsurători.

În cazul măsurătorilor în serie (fig. 35), alungirile specifice sînt date de expresiile

$$\varepsilon_1 = \frac{\Delta l_1}{l_1}, \quad \varepsilon_2 = \frac{\Delta l_2}{l_2}, \quad \dots \quad \varepsilon_i = \frac{\Delta l_i}{l_i},$$

care se pot scrie sub forma generală

$$\varepsilon = \frac{\sum_{i=1}^n \varepsilon_i}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{\Delta l_i}{l_i}}{n}. \quad (31)$$

În cazul măsurătorilor în rozetă (fig. 36), alungirile pe cele două direcții x și y sînt date de expresiile

$$\varepsilon_y = \frac{\frac{\Delta l_1}{l_1} + \frac{\Delta l_2}{l_2}}{2} = \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}{2}; \quad (32)$$

utilizînd și a treia măsurătoare, valoarea lui ε_y este

$$\varepsilon_y = \frac{\frac{\Delta l_1}{l_1} + \frac{\Delta l_2}{l_2} + \frac{\Delta l_3}{l_3}}{3} = \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3}{3}. \quad (33)$$

Pe direcția axei x , ε_x se calculează la fel.

În cazul studierii deplasărilor relative ale blocurilor în rostul de dilatație, după cum s-a spus, se utilizează măsurătoarea în triunghi.

Valorile lui x , y și z se pot scoate din figura 40,

$$\left. \begin{aligned} x &= \sqrt{b^2 - y^2}, \\ y &= \frac{1}{2a} (a^2 + b^2 - c^2), \\ z &= \frac{z_a + z_b}{2}, \end{aligned} \right\} \quad (34)$$

în care a , b și c sînt valorile măsurate pe direcția laturilor triunghiului.

În figura 39 dacă notăm cu

ε_A deformația totală rezultă din măsurătorile făcute pe blocul A și cu ε_B deformația totală rezultată

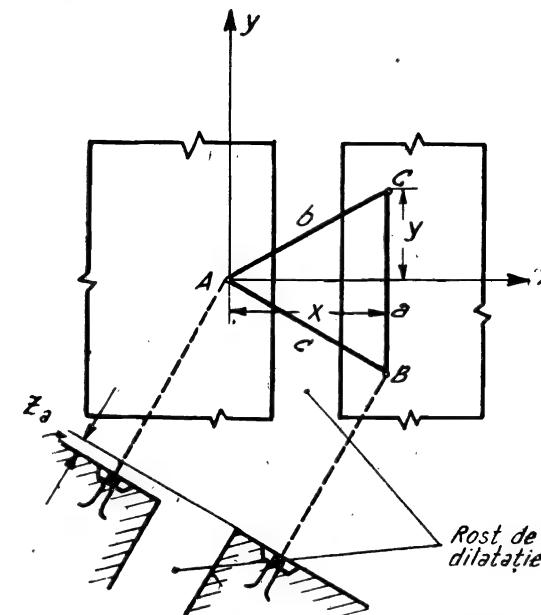


Fig. 40. — Schema de calcul pentru măsurătoarea în triunghi.

din măsurătorile făcute pe blocul B , atunci valoarea lor este dată de relațiile

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_A &= \frac{\frac{\Delta l_1}{l_1} + \frac{\Delta l_2}{l_2}}{2}, \\ \varepsilon_B &= \frac{\frac{\Delta l_3}{l_3} + \frac{\Delta l_4}{l_4} + \frac{\Delta l_5}{l_5}}{3}. \end{aligned} \right\} \quad (35)$$

Pentru ușurința calculului cu bune rezultate se pot folosi următoarele formule :

Semnul și locul măsurătorilor în construcție

CENTRALIZATOR AL MĂSURĂTORILOR ÎN SERIE CU DEFORMETRUL

Nr. ert.	Data	1l =		2l =		3l =		4l =		5l =		6l =		7l =		ε	Obs.
		Δl	ε	Δl	ε	Δl	ε	Δl	ε	Δl	ε	Δl	ε	Δl	ε		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18

Semnul și locul măsurătorilor în construcție

CENTRALIZATOR AL MĂSURĂTORILOR ÎN TRIUNGHI CU DEFORMETRUL

Triunghiul nr.											Obs.
Măsurătoarea de bază					Măsurătorile următoare						
Nr. crt.	Data	a	b	c	a	b	c	Δx	Δy	Δz	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Pentru evitarea greșelilor este recomandabil să se scrie, de exemplu, citirile cu cerneală roșie și rezultatele calculelor cu cerneală albastră.

În ceea ce privește data când se execută aceste măsurători, se va ține seama de specificul lucrării și în orice caz se vor efectua cel puțin o dată pe săptămână.

§ 16. INSTRUCȚIUNI PENTRU FOLOSIRE ȘI MANIPULARE

1. Înainte de măsurare se scoate cîrligul pentru ca aparatul să fie liber.

2. Deformetrul se ține cu mîna de capetele A și B și se presează pe soclurile fixate în beton.

3. Se răsucesce șurubul fixator de distanță S cu semnul (+) sau (-) spre știftul 3 după cum avem starea de tensiune sau compresiune.

4. Presiunea exercitată pe aparat trebuie să fie la început de circa 1/2 kg. Se scade apoi presiunea pînă ce se poate obține după experiență o citire uniformă.

5. La bascularea într-o parte și alta a aparatului diagonal pe axă, arătătorul se mișcă venind întotdeauna din aceeași direcție spre poziția definitivă care se atinge atunci cînd deformetrul este într-o poziție verticală față de linia de măsurare.

6. De obicei citirea trebuie făcută de trei ori prin rotire cu 180°, după care se face media aritmetică. Trebuie să se aibă în vedere că la întoarcerea cu 180°, diferența dintre o citire și alta să nu depășească o diviziune a microcomparatorului.

7. Adînciturile conice din soclurile îmbetonate și vîrfurile aparatului trebuie ținute curate.

8. După citire se pune cîrligul spre siguranță și aparatul se păstrează într-o cameră uscată.

9. Controlul aparatului se face la fiecare măsurătoare cu ajutorul dispozitivului de verificare.

10. După terminarea măsurătorilor, capetele soclurilor îmbetonate se ung cu vaselină și se pun piulițele de protecție.

§ 17. AVANTAJELE ȘI DEZAVANTAJELE PE CARE LE PREZINTĂ APARATUL

Avantajele deformetrului sînt :

Este un aparat de construcție simplă și solidă.

Permite înlăturarea influenței temperaturii.

Permite o citire bună.

Se poate verifica ușor poziția deformetrului față de construcție.

Se mînuiește ușor.

Printre dezavantaje cităm :

Este sensibil la praf și murdărie și de asemenea este sensibil la umiditate.

D. MĂSURAREA ÎNCLINĂRII CONSTRUCȚIILOR

§ 18. SCOPUL MĂSURĂTORILOR

Măsurarea înclinării construcțiilor are ca scop determinarea unghiului de înclinare ca rezultat al deformării construcției și terenului de fundație.

În cazul când avem un punct fix de plecare, putem să determinăm și alura curbei elastice de deformare.

Aceste măsurători, pe lângă că ne ajută la examinarea mișcării terenului de fundație, ne dau totodată indicații prețioase asupra stabilității construcției.

Pentru acest scop cele mai cunoscute aparate sînt clinometrul cu oglindă și clinometrul Huggenberger.

1. Clinometrul cu oglindă

Clinometrul cu oglindă a fost utilizat cu bune rezultate la barajul american Boulder.

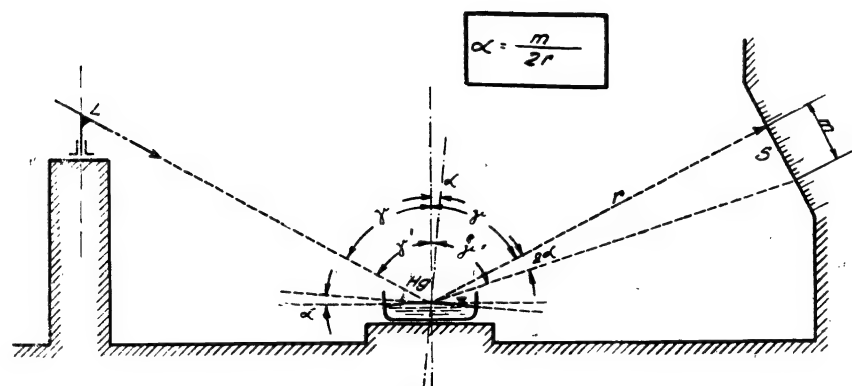


Fig. 41. — Clinometrul cu oglindă.

În figura 41, luneta L este fixată pe peretele blocului sau a galeriei de control și dirijată spre nivelul oglinzii de mercur Hg .

Dacă pe oglindă se trimite o rază de lumină $L-Hg$, în urma rotirii oglinzii cu unghiul α , raza reflectată este deviată cu unghiul 2α .

Citirea se face pe scala S . Din numărul m de diviziuni citite se poate apoi ușor deduce valoarea unghiului α ce ne indică înclinarea suferită de blocul de beton.

Din figura 41 rezultă

$$m = r \operatorname{tg} 2\alpha. \quad (36)$$

Dar

$$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{\sin 2\alpha}{\cos 2\alpha} = \frac{2 \sin \alpha \cos \alpha}{1 - 2 \sin^2 \alpha}. \quad (37)$$

Cum unghiul α este în general mic, se ia $\cos \alpha \approx 1$ și $\sin^2 \alpha \approx 0$ se înlocuiește în relația (37) și rezultă

$$\operatorname{tg} 2\alpha \approx 2 \sin \alpha. \quad (38)$$

Valoarea aflată se înlocuiește în relația (36) și se obține

$$m = 2r \sin \alpha. \quad (39)$$

La valori foarte mici ale lui α , se ia

$$\sin \alpha \approx \alpha$$

și se obține

$$\alpha = \frac{m}{2r} \quad (40)$$

care ne dă valoarea unghiului de înclinație.

2. Clinometrul Huggenberger

Clinometrul Huggenberger (fig. 42 și IV) se compune dintr-un nivel ultrasensibil 1 ce este fixat pe o tijă suport 2 , menținută în poziția inițială de un arc 3 , al cărui suport este bara 4 .

Prin învîrtirea șurubului micrometric 5 , fusul 6 apasă pe tija suport 2 , care datorită articulației 8 se rotește și nivelul se deplasează. Gradațiile sînt arătate cu ajutorul indicatorului 7 . Clinometrul este prevăzut cu o carcasă metalică pentru protecție.

Citirea se face prin niște ochiuri special amenajate în carcasa metalică a clinometrului.

Bara 4 este prevăzută cu un suport 9 . Clinometrul mai este prevăzut cu o lupă ce se poate așeza la ochiurile carcasei pentru citire. La nivelul clinometrului este așezată o oglindă ce permite citirea în direcția axei longitudinale

Lungimea bazei clinometrului este de 73 mm.

Pentru ușurința montării aparatului, în funcție de poziția ce o ocupă față de construcție, fie pe pereții verticali, pe baze orizontale etc.

clinometrul mai este prevăzut cu următoarele piese accesorii necesare montării:

- Cilindrii metalici de susținere
- Discurile metalice de susținere
- Bară - suport
- Soclurile metalice de susținere și fixarea distanței.

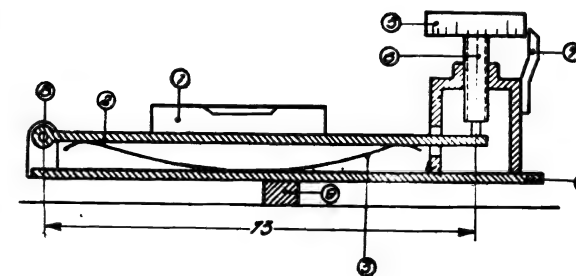


Fig. 42. — Schema clinometrului Huggenberger.

a. *Cilindrul metalic.* În cazul când se pune problema determinării deformațiilor locale la un perete vertical se utilizează cu bune rezultate un cilindru metalic ce se îmbetonează în blocul de beton sau un disc metalic.

Cilindrul metalic 1 din figura 43 a are diametrul interior 14,3 cm iar lungimea 27,5 cm. În interiorul cilindrului este prevăzut un dispozitiv de susținere a clinometrului 2 ce constă din trei bușe de oțel călit. Bucșa 2' este prevăzută cu o creștătură longitudinală, servind pentru orientarea clinometrului în direcție longitudinală, bucșa 2'' este plană

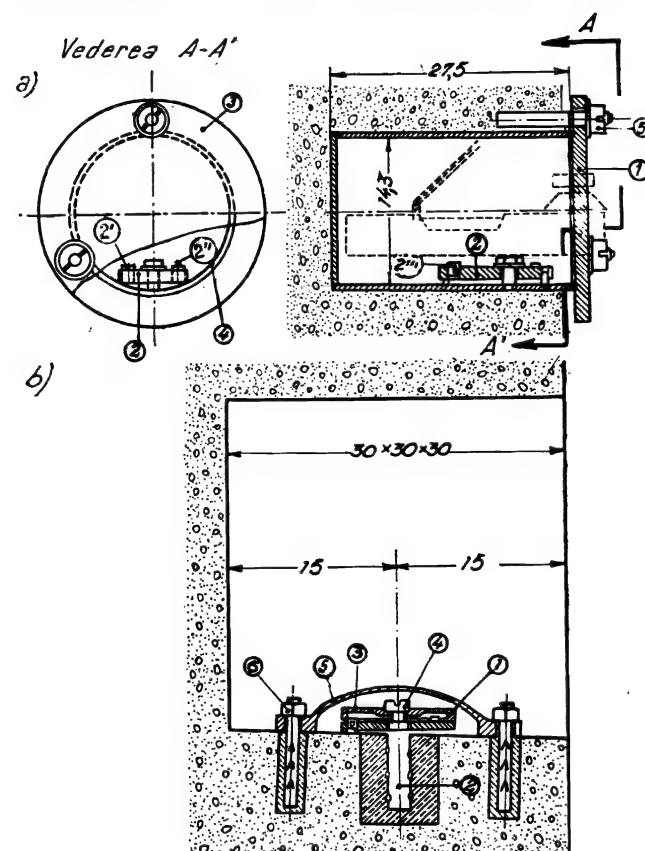


Fig. 43. — Suportii clinometrului.
a) cilindru metalic; b) discul metalic.

și servește la fixarea altitudinii, iar bucșa 2''' este prevăzută cu un orificiu, ce servește pentru centrarea clinometrului.

Interiorul cilindrului metalic, în timpul neutilizării, se protejează împotriva umidității prin capacul 3 și inelul de cauciuc 4. Capacul se prinde cu ajutorul piulițelor 5 în buloanele ce fac parte integrantă din corpul cilindrului metalic.

b. *Discul metalic de susținere.* Când spațiul ne permite, în locul cilindrului metalic se poate folosi discul metalic de susținere a clinometrului (fig. 43 b).

Discul metalic 1 este prevăzut cu un bulon de fixare 2. Pe acest disc sînt prevăzute șase bușe pentru aranjarea clinometrului în două poziții perpendiculare.

Diametrul discului este de aproximativ 10,5 cm. Capacul 3 se prinde cu un șurub 4 de discul metalic și servește ca protecție contra umidității și prafului.

Capacul metalic 5, în formă de boltă, servește ca protecție contra influențelor mecanice. Acest capac se prinde cu ajutorul a două buloane 6 fixate în beton.

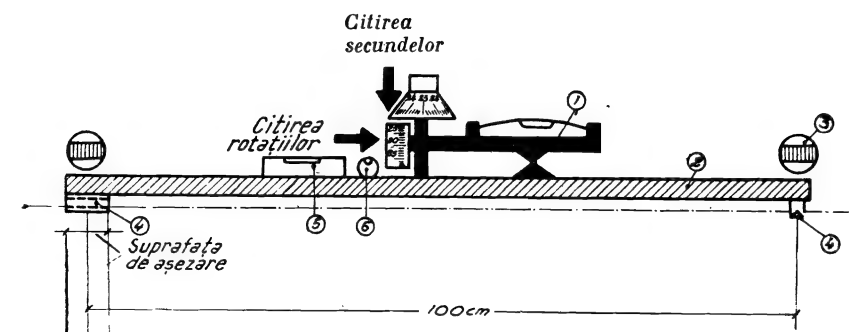


Fig. 44. — Bara-suport a clinometrului.

În cazul măsurărilor clinometrice, utilizînd discul metalic, spațiul necesar în beton este de 30x30x30 cm.

c. *Bara-suport.* Pentru eliminarea deformărilor locale, se alege distanța între punctele de așezare de 100 cm și în acest scop se folosește bara-suport a clinometrului (fig. 44).

Clinometrul 1 este fixat pe bara-suport 2, care poate fi manipulată cu ajutorul a două butoane de prindere 3 executate dintr-un material izolan.

Bara-suport este eliptică în secțiune transversală, ceea ce-i asigură rigiditatea necesară și totodată o bună aerisire și o compensare a temperaturii. Bara-suport 2 mijlocește măsurarea înclinării pe baze de 100 cm lungime. Ea este prevăzută la ambele capete cu bride 4 care sînt înzestrate la partea inferioară cu plăci, ajustate astfel încît să fie asigurată o păsuire absolut precisă a clinometrului pe fața rotundă a soclurilor îmbetionate în blocul de beton.

Una din plăci este prevăzută la partea inferioară cu o creștătură longitudinală de profil triunghiular, iar cealaltă cu o adîncitură conică.

Această dispoziție dă posibilitatea așezării perfecte a clinometrului pe socluri, chiar în cazul cînd nu sînt îmbetionate la distanțe exacte de 100 cm între ele.

Pentru orientarea aproximativă a dispozitivului de măsurat (bara-suport plus clinometrul) sînt prevăzute nivelele 5 și 6 așezate încrucișat și care indică planul orizontal al liniei b (fig. 47) și care ne arată păsuirea exactă dintre dispozitivul de măsurat și socluri.

d. *Socurile metalice de susținere și fixarea distanței.* Socurile clinometrului sînt confecționate din alamă, cu capetele sferice din oțel inoxidabil. Socul (fig. 45) este construit din două părți: corpul propriu-zis al socului 1 și un manșon protector din bronz 2 care, datorită unui filet fin, se poate roti. La partea superioară a piesei 2 se găsește bila de așezare 3, care se confecționează dintr-un oțel inoxidabil călit. După imbe-tonarea socurilor se reglează piesa 2 astfel încît clinometrul fixat pe bara-suport să se găsească într-un plan perpendicular, iar părțile superioare ale sferei să fie într-un plan orizontal.

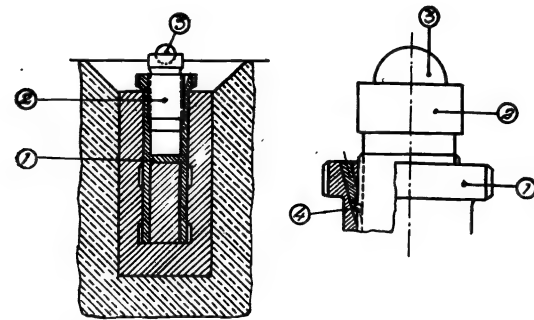


Fig. 45. — Socul clinometrului.

După terminarea măsurătorilor socul se unge și se acoperă cu o calotă de protecție. Prin calota de protecție, socul este ferit de pătrunderea prafului.

La o oarecare dexteritate a manipulării se obține o precizie de așezare de $1'' \div 1,5''$.

§ 19. PRINCIPIUL DE MĂSURARE

Cu ajutorul clinometrului stabilim deviația de la poziția de bază.

Prin amenajarea a două direcții de măsurare perpendiculare una pe alta (de exemplu într-un bloc, o direcție paralelă curentului apei și alta perpendiculară pe prima) stabilim deformarea totală (înclinarea) a blocului din corpul barajului.

Metoda măsurării este simplă și independentă de momentul măsurării, de temperatură și de locul unde se face.

În schimb se cere ca executarea să fie de o exactitate și responsabilitate foarte mare.

Mișcările nivelei, declanșează șurubul micrometric cu o precizie de $1''$ unghiulară.

Înclinările nivelei se măsoară cu ajutorul numărului de rotații complete indicate de o roată specială, anexată șurubului micrometric, și al numărului de secunde indicate de tamburul șurubului micrometric.

Distanța între două diviziuni ale tamburului micrometric corespunde unei secunde unghiulare.

Tamburul are 250 de diviziuni, astfel încît unei rotații complete îi corespunde $4' 10''$.

Domeniul total de măsurare este de 3° . În figura 46 se dă modul de citire corectă la tamburul șurubului micrometric și la roata înregistratoare

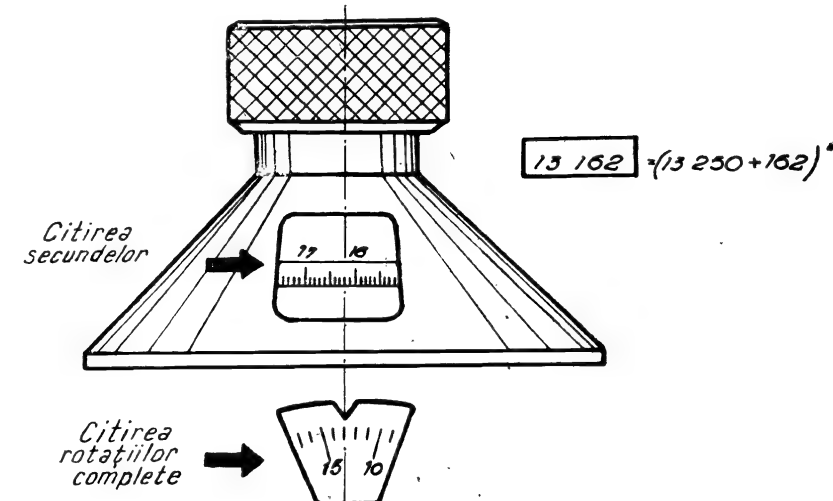
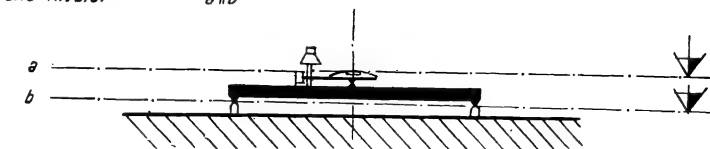


Fig. 46. — Exemplu de citire la clinometru (vederea din față a clinometrului).

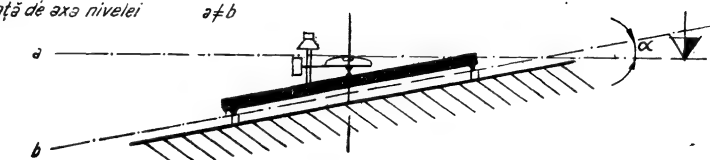
Poziția I

- Citirea de bază C_b
- Unghiul de înclinare $\alpha = 0$
- Linia reperelor paralelă cu axa nivelei $a \parallel b$



Poziția II

- Citirea la tambur C_n
- Unghiul de înclinare $\alpha = (C_n - C_b)$
- Linia reperelor înclinată față de axa nivelei $a \neq b$

Fig. 47. — Pozițiile clinometrului în timpul citirii:
I. Clinometru pe o bază orizontală, II. Clinometru pe o bază înclinată.

(rotații complete). În timpul măsurării avem două poziții posibile ale clinometrului (fig. 47).

Poziția I. Clinometrul are o bază orizontală. În acest caz avem :

- axa nivelei a orizontală
- linia ce trece prin vîrfurile soclurilor b orizontală
- axa a este paralelă cu linia b
- citirea de bază C_b
- unghiul de înclinare $\alpha = 0$ secunde.

Poziția II. Clinometrul are o bază înclinată

- axa nivelei a orizontală
- linia ce trece prin vîrfurile soclului înclinată
- citirea de bază C_b
- citirea la tambur C_n
- unghiul de înclinare $(C_n - C_b)$ secunde.

§ 20. PROIECTAREA ȘI AMENAJAREA BAZEI MĂSURĂTORILOR

În blocul de beton se fixează prin îmbetonare o serie de socluri (minimum două) dintre care o parte pe o linie aproximativ paralelă direcției de scurgere a curentului apei și o alta pe o linie perpendiculară pe această direcție.

În cazul cînd se fixează poziția de bază cu două socluri, atunci trebuie să excludem erorile ce ar putea să apară prin ruperea soclurilor, încălzire inegală, deteriorări, fisuri și erori personale în timpul citirilor.

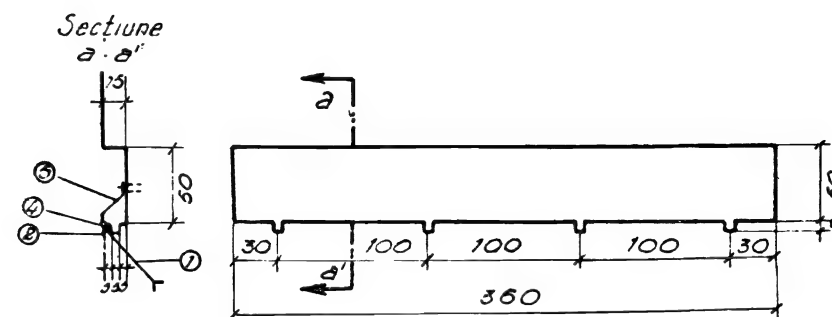


Fig. 48. — Nișă pentru instalarea clinometrului în timpul măsurării.

Este deci mai avantajos a se utiliza baza de măsurători cu cîte 4—6 socluri.

În cazul cînd se determină linia de încovoire a axei verticale a barajului, se alege baza de măsurători într-un puț în interiorul barajului pe toată lățimea lui.

La examinarea rotației tălpii de fundație trebuie să se prevadă mai multe baze de măsurători, în diferite puncte ale tălpii, transversal pe axa barajului. Se va lăsa în peretele galeriei încă din timpul execuției o nișă pentru aranjarea comodă a clinometrului.

În figura 48 se redau dimensiunile nișei pentru o bază de trei măsurători. Pe muchea exterioară de jos a nișei se îmbetonează o cornieră 2 ce este prinsă prin ancora 1. De cornieră prin intermediul articulației 4 se prinde un capac de protecție 5 din tablă striată. Capacul apără soclurile de deteriorări mecanice în timpul lucrărilor pe șantier și protejează contra pătrunderii prafului, se închide în timpul neutilizării bazei de măsurători printr-un dispozitiv de fixare.

Pentru îmbetonarea soclurilor trebuie lăsate în nișă goluri de $5 \times 5 \times 7$ cm. În aceste goluri se fixează soclurile cu un mortar de ciment cu nisip cernut. Condiția ce se cere este ca materialul să nu-și mărească volumul în timpul prizei și întăririi cimentului.

Piesa 2 (fig. 45) se deșurubează cu circa 1,5 cm din manșonul de protecție înainte de îmbetonare. Verificarea ca partea superioară a bi-lelor de așezare 3 să fie într-un plan orizontal se poate face cu ajutorul nivelelor încrucișate de pe bare-suport. Fixarea piesei 2 pentru a se evita învîrtirea în manșon, se va face după întărirea mortarului de ciment și prin întreruperea forțată a filetului.

Pentru aranjarea definitivă a soclurilor se va folosi clinometrul cu nivelul așezat în poziția de zero ($a \parallel b$) (fig. 47).

§ 21. REGULI DE MĂSURARE

Pentru ca măsurările să fie cît mai exacte trebuie respectate următoarele reguli de măsurare :

1) Aparatul să se transporte numai în valiza de protecție proprie și să se ferească de orice fel de lovituri.

2) Clinometrul trebuie apucat numai de butoanele de prindere.

3) Dispozitivul de măsurare (clinometrul plus bara-suport) să se așeze cu multă atenție pe socluri, iar verificarea poziției corecte a soclurilor să se facă numai cu aparate verificate.

4) Menținerea exactă a poziției verticale a clinometrului să se facă prin observarea nivelelor aranjate încrucișat.

5) Reglarea bulei de aer a nivelei principale să se facă prin învîrtirea șurubului micrometric.

Nivelul se consideră reglat atunci cînd bula de aer rămîne în repaus în poziția din mijloc a gradațiilor însemnate cu roșu pe sticlă.

Deviația bulei cu o singură gradație se obține prin învîrtirea șurubului micrometric cu 2,5 diviziuni.

6) Citirea secundelor să se facă pe tambur, iar a rotațiilor complete pe o roată specială. Pentru uniformitate, este indicat a se citi numai pe ochiurile laterale ale clinometrului.

O rotație completă a șurubului micrometric are 250 diviziuni. Fiecare diviziune înseamnă un unghi de $1''$, care înmulțit cu constanta aparatului a cărei valoare este puțin mai mare decît unitatea, ne dă valoarea exactă a unghiului de rotație. Exemplu este arătat în figura 46.

7) Continuarea măsurărilor să se facă conform punctelor 1—6 pe restul de socluri ce fac parte din baza de măsurători.

Se va avea în vedere a se păstra în permanență aceeași poziție a clinometrului. De exemplu poziția I când șurubul micrometric este de partea stângă a celui ce măsoară și nivelul de partea lui dreaptă (fig. 49 a).

8) Măsurătorile să se repete conform punctelor 1—7 dar cu clinometrul în poziția II, adică întors cu 180°. În poziția II șurubul micrometric este de partea dreaptă și nivelul pe partea stângă (fig. 49 b).

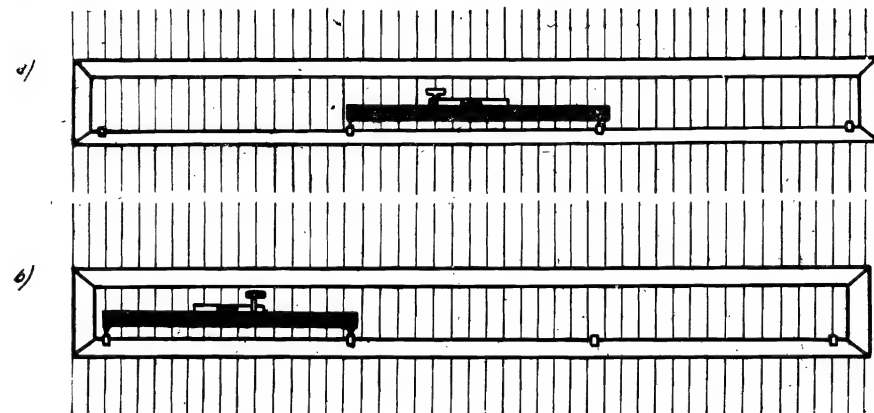


Fig. 49. — Poziția corectă a clinometrului în nișă în timpul citirii.
a) poziția I de citire; b) poziția II de citire întoarsă cu 180°.

9) Citirile făcute în poziția I și II (fig. 49) pe aceeași bază, trebuie să dea întotdeauna aproximativ aceeași cifră.

Deviațiile cauzate de schimbarea temperaturii nivelei sau tijeii suport sînt cu totul neînsemnate.

§ 22. ÎNGRIJIREA APARATELOR

Pentru buna funcționare a aparatelor trebuie respectate o serie de prescripții. Astfel :

- 1) Clinometrul trebuie păstrat curat și la uscat în valiza protectoare.
- 2) După fiecare întrebuințare trebuie șters cu o cârpă moale.
- 3) Suprafețele de contact dintre bara-suport și socluri trebuie să fie curățate cu grijă.
- 4) După fiecare măsurătoare calotele de protecție trebuie înșurubate la socluri, după ce în prealabil soclurile se ung cu vaselină.

§ 23. ÎNREGISTRAREA MĂSURĂTORILOR ȘI CALCULUL

Măsurătorile ce se execută cu ajutorul clinometrului sînt de două feluri : obișnuite și excepționale.

- 1) Măsurătorile obișnuite se execută atît în timpul betonării, a umplerii lacului de acumulare, cît și în timpul exploatării construcției, după un plan dinainte stabilit.

La stabilirea planului de măsurători se va avea în vedere următoarele :

- prima măsurătoare, se face imediat după fixarea soclurilor ;
- a doua măsurătoare, se face după ridicarea apei în lac pînă la cota fixată ;
- a treia măsurătoare, se face înainte de noua umplere ;
- a patra măsurătoare, se continuă apoi măsurătoarea înainte și după fiecare umplere.

Se va avea în vedere ca lunar să se facă cel puțin patru măsurători. 2) Măsurătorile excepționale se fac în cazurile cînd înclinarea barajului se apropie de valoarea limitei critice.

Calcularea unghiurilor de înclinare din citirile făcute cu clinometrul se face în modul următor :

Dacă notăm prin :
I C_n și II C_n citirile făcute cu clinometrul în poziția I respectiv poziția II atunci unghiul de înclinare corespunzător fiecărei citiri este dat de

$$\left. \begin{aligned} \text{I } C_n - \text{I } C_{n-(n-1)} &= \text{I } r_n, \\ \text{II } C_n - \text{II } C_{n-(n-1)} &= \text{II } r_n, \quad n = 1, 2, 3, 4, \dots \end{aligned} \right\} \quad (41)$$

Pentru a obține rotirea unei baze întregi de măsurători facem media aritmetică

$$\left. \begin{aligned} \frac{\text{I } r_1 + \text{I } r_2 + \text{I } r_3 + \dots + \text{I } r_n}{n} &= \frac{\sum \text{I } r_n}{n}, \\ \frac{\text{II } r_1 + \text{II } r_2 + \text{II } r_3 + \dots + \text{II } r_n}{n} &= \frac{\sum \text{II } r_n}{n}. \end{aligned} \right\} \quad (42)$$

În cazul cînd constanta aparatului are o valoare diferită de unitate fie ea K , atunci unghiul de înclinare în secunde față de poziția de bază îl obținem prin multiplicarea acestei constante cu relația (42) și rezultă

$$\left. \begin{aligned} R_{\text{I}} &= K \frac{\sum \text{I } r_n}{n}, \\ R_{\text{II}} &= K \frac{\sum \text{II } r_n}{n}, \end{aligned} \right\} \quad (43)$$

a cărui medie aritmetică ne dă valoarea căutată

$$R_m = \frac{(R_{\text{I}}) + (R_{\text{II}})}{2}. \quad (44)$$

Parantezele indică valoarea absolută a citirii. Semnul (+) va fi luat atunci cînd înclinarea va fi în sensul curentului și (—) cînd rotirea va fi în sens contrar curgerii apei.

Pentru ușurința calculului cu bune rezultate se poate folosi următorul formular:

Semnul și locul măsurătorilor în construcție

CENTRALIZATOR AL MĂSURĂTORILOR OBTINUTE CU CLINOMETRUL

Nr. crt.	Data	Pozitia I						Pozitia II						R_m	Obs.
		c_1	c_2	c_3	c_4	$\frac{\sum I r_n}{n}$	R_I	c_1	c_2	c_3	c_4	$\frac{\sum I r_n}{n}$	R_{II}		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
		*)						*)							
		*)						*)							

*) Se trece diferența între citirea curentă și citirea inițială considerată a fi de bază.

Cu valorile aflate se trece apoi la întocmirea diagramelor.

§ 24. VERIFICAREA CLINOMETRULUI

Pentru verificarea clinometrului pe șantier este recomandat să se utilizeze un bloc de beton.

Blocul de beton trebuie să fie turnat în apropierea șantierului, pe cât posibil pe o rocă nedeformabilă.

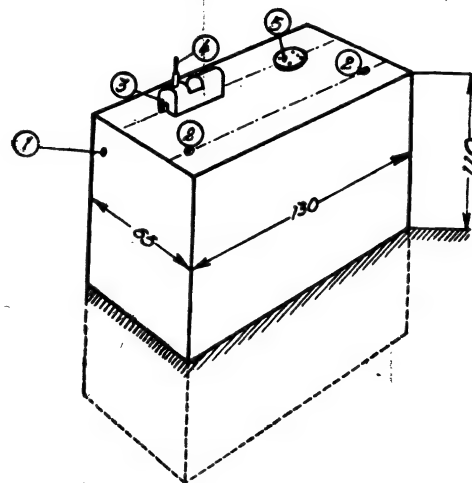


Fig. 50. — Blocul de control pentru verificarea clinometrului.

Blocul de verificare (fig. 50) are dimensiunile 65x130x110 cm.

Pe fața superioară a blocului de beton 1 se montează un clinometru închis într-o carcasă metalică 3 pentru a fi protejat de deteriorările mecanice.

Pe acest clinometru se observă în mod curent rotația. Temperatura este indicată de termometru 4. Tot pe fața blocului se mai montează discul de metal 5 și soclurile 2. Discul de metal are două poziții de așezare, decalate la 180°, și servește pentru verificarea clinometrului folosit pe șantier.

Bara-suport se verifică pe soclurile 2.

Pentru verificare se compară citirea la clinometru ce se așează pe blocul de beton cu citirea la clinometrul de control 3.

E. MĂSURAREA ROSTURILOR DE DILATAȚIE

§ 25. SCOPUL MĂSURĂTORILOR

Pentru evitarea fisurilor, barajele se împart în blocuri separate, prin rosturi de dilatare. De obicei, aceste rosturi împart barajul pe toată înălțimea lui.

Datorită variațiilor de temperatură sau datorită tasărilor neuniforme, produse de neomogenitatea fundației și a variației înălțimii construcției, blocurile vecine se pot deplasa vertical, transversal și longitudinal unul față de celălalt și se pot inclina în funcție de deformațiile barajului.

Blocurile barajelor se alungesc sau se contractă în funcție de anotimp și totodată variază și lățimea rostului cu înălțimea, de obicei între limitele de 1–5 mm, fapt care depinde de distanța dintre rosturi și de variațiile de temperatură.

În practica construcțiilor masive, și deci și la barajele de beton, clădite din blocuri, se controlează poziția reciprocă a blocurilor învecinate, prin măsurarea rosturilor de dilatație.

§ 26. APARATE ȘI DISPOZITIVE FOLOSITE ÎN PRACTICĂ

Pînă în prezent s-au imaginat o serie de aparate și dispozitive cu ajutorul cărora să se poată stabili deplasarea blocurilor unul față de altul. Printre aparatele și dispozitivele frecvent folosite sînt:

- Scoabele Metra-Frič — măsurarea se face cu șuruburi micrometrice, pene sau bucăți de tablă.
- Deformetrul.
- Barele învar prevăzute cu șuruburi micrometrice.
- Dilatometrul Dr. Cach.
- Teledilatometrul Huggenberger.
- Micrometrul de rost etc.

În figura 51 se dau cinci dispozitive de măsurarea rosturilor de dilatație la diferite baraje din Franța și Republica Cehoslovacă. În Republica Cehoslovacă în cele mai multe cazuri au fost așezate scoabe speciale, fabricate la Uzina Metra-Frič care dau posibilitatea măsurării exacte a deschiderii sau închiderii rosturilor cu ajutorul șurubului micrometric, introdus între ambele capete ale scoabelor (fig. 51 a).

În locul șurubului micrometric se poate folosi o pană (fig. 51 b) sau bucăți din tablă (fig. 51 d). Măsurarea cu ajutorul deformetrului (fig. 51 c) se folosește numai la lățimi mici ale rostului de dilatație (vezi cap II subcap C).

La barajul Sarrans în dreptul rosturilor de dilatație sînt fixate repere la 150 cm distanță. Deschiderea sau închiderea rosturilor se măsoară prin intermediul unei bare învar prevăzută cu un șurub micrometric sau cu un microcomparator (fig. 51 e).

Cu ajutorul acestor dispozitive se controlează deplasarea blocului numai într-o singură direcție. Măsurarea pe celelalte două direcții nu este posibilă.

Acest lucru a dus la imaginarea altor dispozitive care să înlăture acest inconvenient.

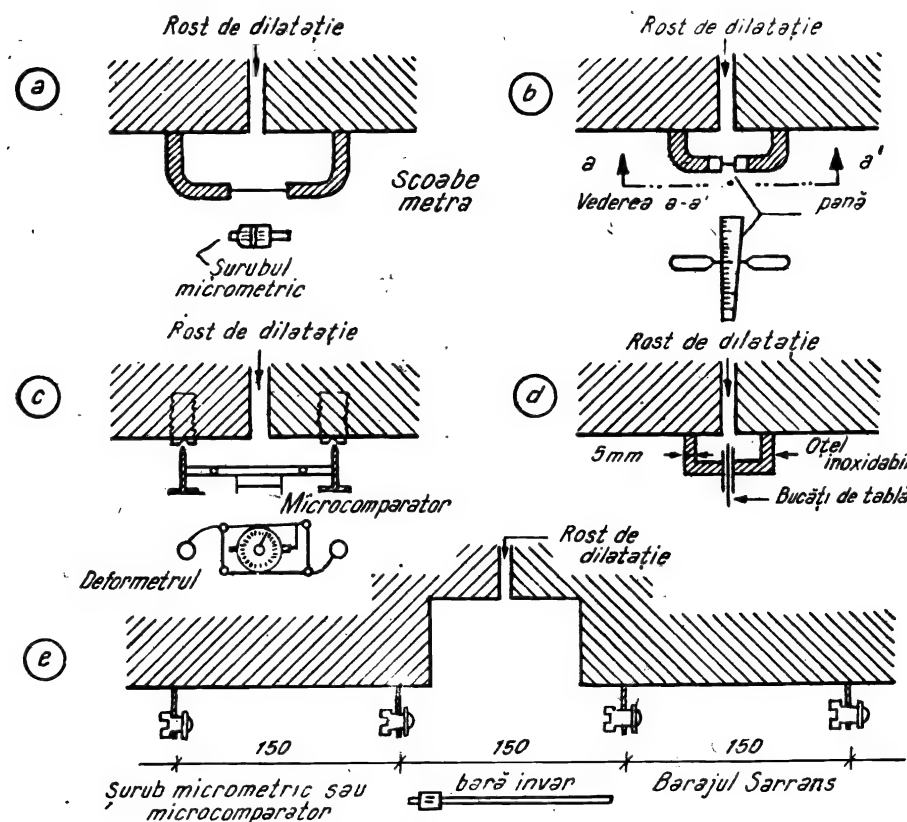


Fig. 51. — Măsurarea rosturilor de dilatație.

În ultimul timp ing. Dr. F. C a c h a propus un dilatometru care permite măsurarea rosturilor de dilatație pe toate trei direcțiile.

1. Dilatometru Dr. Cach

Dilatometru propus de Dr. C a c h se compune din două scoabe cu profil rigid, unite printr-un corp metalic din același material cu scoabele și care are formă cubică.

Cubul se taie într-o secțiune urmînd linia diagonală. Cele două prisme triunghiulare formate se îndepărtează una de alta cu circa 2 cm.

În figura 52 este dată vederea axonometrică a dilatometrului propus de Dr. C a c h. Totodată se indică și direcția după care se pot face măsurătorile.

Fabricarea acestui dispozitiv este simplă. Se toarnă mai întîi întreaga piesă din fontă, se prelucreează pereții cubului și ulterior se execută tăierea cubului pe direcția diagonală.

Aparatul este scos în serie de Uzina Metra-Frič și în prezent este instalat la diferite baraje cehoslovace.

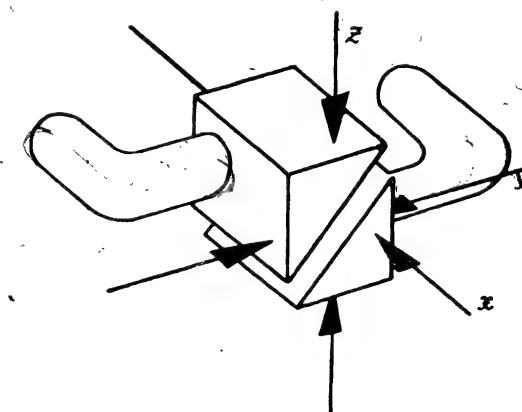


Fig. 52. — Vedere axonometrică a dilatometrului.

2. Teledilatometru Huggenberger

Teledilatometru Huggenberger (fig. 53 și III) se compune din două cadre metalice 1 și 2, legate prin plăcuțele 3 și 4, care asigură o deplasare numai în sens longitudinal. Un arc spiral 14 asigură cadrelor metalice poziția inițială.

La extremități, cadrele se termină cu flanșa 5 prevăzută cu o capotă filetată ce permite înșurubarea teledilatometrului la manșonul de fixare în timpul îmbetonării, și cu flanșa 6, terminată cu camera 17, de unde pleacă cablul 12.

Aparatul mai este prevăzut cu două bobine R_1 și R_2 executate din sîrmă polisată ce trece peste două roțițe de porțelan 7, respectiv 9 și se sudează la clemenele 8, la care se sudează și conductorul cablului 12.

Tot sistemul este protejat prin carcasa 11 întreruptă la jumătate prin conducta flexibilă 15.

În dreptul acestei conducte se prevede un manșon 16, pentru a împiedica intrarea betonului în culele conductei.

Aparatul are următoarele caracteristici:

- diametrul tubului 30 mm
- domeniul de măsurare +5 mm; -0,8 mm
- precizia 0,01 mm
- permite să se măsoare temperatura.

Îmbetonarea aparatului se face la circa 15 cm sub rostul zilnic de lucru. Manșonul 1 de fixare a teledilatometrului prin intermediul cuielor ce trec prin capacul 2 înșurubat la manșon și a sîrmei 3 se prinde de cofrajul de lemn 4 (fig. 54 a). Cablul circuitului 12 se strînge în cofrajul 5, amplasat la circa 110 cm sub rostul de lucru (fig. 54 b).

După scoaterea cofrajului se face legătura cablurilor (cablul aparatului cu cablul circuitului) și se înșurubează aparatul la manșonul de fixare. Pe porțiunea de trecere prin rost, cablul se izolează pe o lungime de circa 100 cm (fig. 54 c), apoi se continuă betonarea.

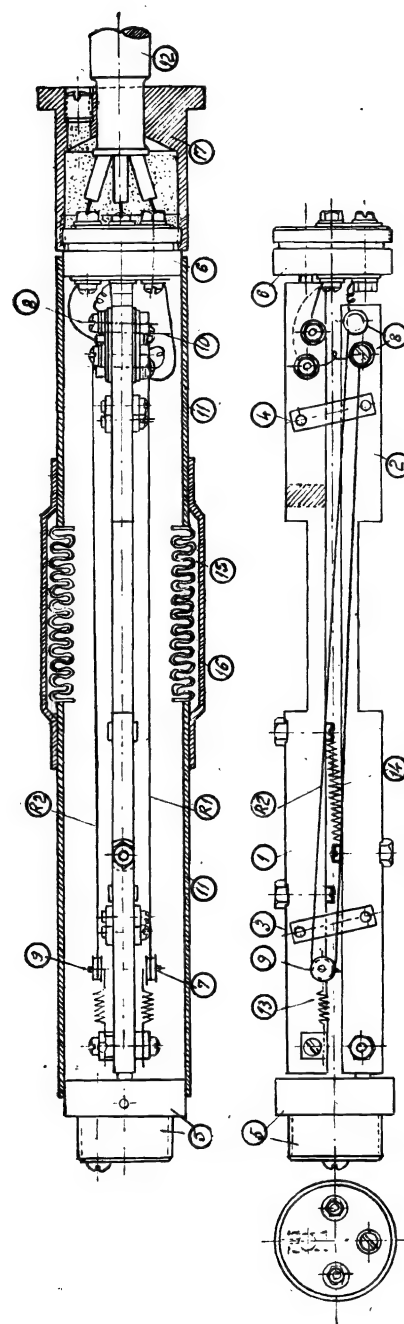


Fig. 53. - Sectione prin teledilatometrul.

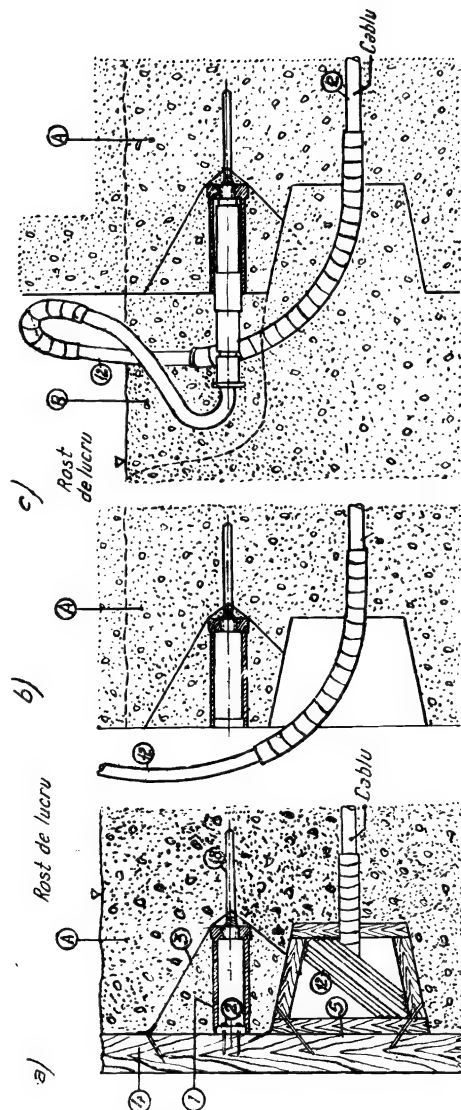


Fig. 54. - Procesul de introducere în beton a teledilatometrului.

3. Micrometrul de rost

Aparatul (fig. 55) constă dintr-un bulon extensibil 1, introdus într-un tub-suport 2, prevăzut la un capăt cu un microcomparator 3. Prin învîrtirea șurubului 4 și datorită a trei renuri de reazem 5, așezate la 5 cm distanță una de alta, micrometrul se acomodează la lățimea rostului.

În timpul citirii, aparatul se așează pe soclurile metalice 6.

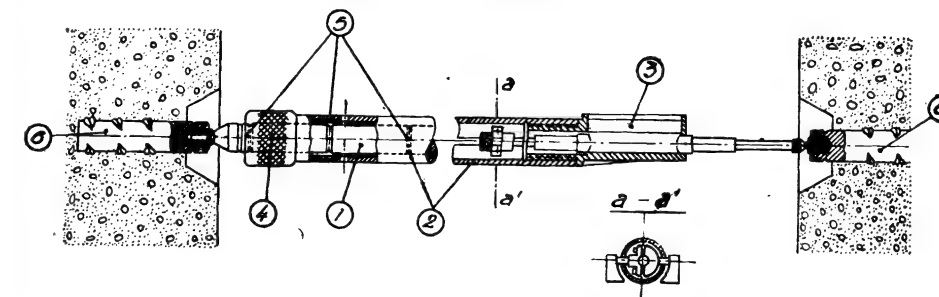


Fig. 55. - Micrometrul de rost.

Tubul suport 2 este prevăzut cu un termometru pentru a se putea corecta valorile citite, deoarece aparatul suferă o dilatare termică.

Micrometrul are următoarele caracteristici :

- domeniul de măsurare . . . 50 mm
- precizia 0,05 mm.

§ 27. PRINCIPIUL DE MĂSURARE

Principiul măsurării cu ajutorul dilatometrelor constă în a căuta distanța exactă dintre două puncte situate fix pe cele două blocuri de beton vecine.

Cu scoabele Metra-Frič, cu deformetrul, cu teledilatometrul Huggenberger cît și cu micrometrul de rost, nu se poate determina decît deplasarea pe o singură direcție. Dilatometrul Dr. Cach permite stabilirea deplasărilor în rostul de dilatație pe trei direcții.

În figura 56 sînt date direcțiile posibile de măsurare în rosturile de dilatație atunci cînd se utilizează dilatometrul Dr. Cach.

În cazul dilatometrului, măsurarea se poate face cu ajutorul micro-comparatorului sau a vernierului.

§ 28. ÎNREGISTRAREA MĂSURĂTORILOR ȘI CALCULUL

Măsurătorile se fac de obicei pentru fazele caracteristice în timpul construcției, al retenției și al exploatării și se execută după cum urmează :

- 1) imediat după instalare ;
- 2) la fiecare 2 m de apă ridicată în lac pînă la $\frac{1}{2} H$;

- 3) la fiecare metru de apă ridicată în lac de la $\frac{1}{2} H$ până la $\frac{2}{3} H$;
 4) la fiecare $\frac{1}{2} m$ de apă ridicată în lac, de la $\frac{2}{3} H$ până la H total.
 În orice caz, măsurătorile se execută cel puțin de trei ori pe lună.

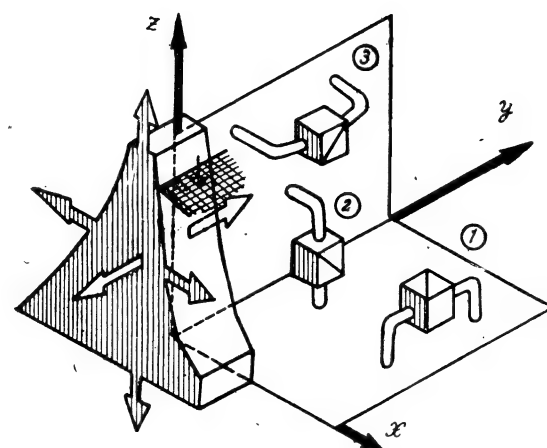


Fig. 56. — Măsurători pe cele trei direcții cu dilatometrul Dr. Cach:

- 1) măsurători după axa z ; 2) măsurători după axa y ; 3) măsurători după axa x .

Cînd se face numai o măsurătoare, atunci se va avea grijă ca ea să se facă la mijloc.

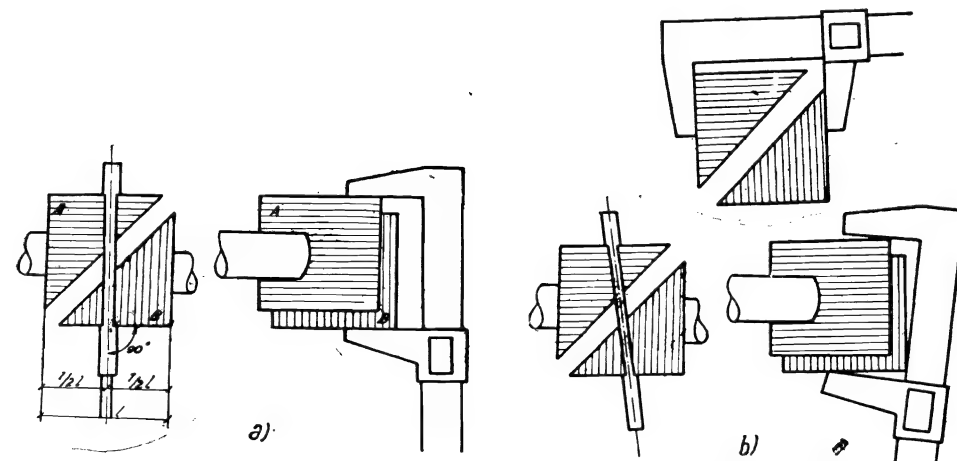


Fig. 57. — Exemple de citire a deformațiilor indicate de dilatometru cu ajutorul vernierului.

Valorile citite se consideră pozitive atunci cînd blocurile se îndepărtează între ele și negative atunci cînd blocurile se apropie.

În caz că măsurătorile clinometrice și pendulare arată deplasări mari, atunci se va mări și numărul măsurătorilor în rosturile de dilatație.

În timpul măsurării se impune ca fețele dilatometrului să fie curate.

După cum se vede din figura 57 a în timpul măsurării trebuie ca vernierul sau microcomparatorul să fie așezat perpendicular pe direcția dilatometrului.

În figura 57 b se arată modul greșit de măsurare cu vernierul.

Măsurătorile se fac la marginea și la mijlocul cubului și ca rezultat se consideră media aritmetică a celor trei determinări.

Dacă notăm cu c_x , c_y și c_z , prima citire pe direcția x , y , z , considerată a fi citirea de bază și cu C_x , C_y și C_z una din citirile următoare, atunci rezultatul deplasării în rostul de dilatație este dat de relațiile

$$\left. \begin{aligned} R_x &= C_x - c_x \\ R_y &= C_y - c_y \\ R_z &= C_z - c_z \end{aligned} \right\} \quad (45)$$

Observații suplimentare asupra rosturilor de dilatație se trec în următorul formular:

Denumirea construcției

FORMULAR CU OBSERVAȚII ASUPRA ROSTURILOR DE DILATAȚIE EFECTUATE CU OCHIUL LIBER

Nr. crt.	Data observațiilor	Denumirea sau numărul rostului	Descrierea sumară a construcției rostului	Lățimea mm	Starea marginelor rostului	Starea materialului de umplere	Urme de ieșire a materialului de umplură	Starea straturilor izolatoare	Obs.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

§ 29. REGULI DE INSTALARE ȘI ÎNGRIJIRE A APARATELOR

1) Găurile unde se introduc scoabele sînt prevăzute încă din timpul betonării.

2) La introducerea aparatelor, locurile rămase goale se umplu cu mortar executat cu un nisip cernut.

3) Cofrajul metalic de păstrare a scoabelor în direcția cerută, se scoate după ce betonul s-a întărit bine la aproximativ o săptămînă.

4) Se va avea în vedere ca dilatometrele să fie apărute împotriva coroziunii. Pentru acest lucru, scoabele se încălzesc și se ung cu ulei.

5) Înainte de măsurare fețele se șterg cu o cârpă.

6) Cînd există pericolul de a fi stricate, în doite etc., atunci se apără cu o carcasă metalică.

7) Șuruburile micrometrice, barele invar, micrometrul de rost, microcomparatorul etc. se păstrează într-o cameră uscată.

8) Manipularea cu microcomparatorul trebuie făcută atent, trebuind să se evite totodată învîrtirea arătătorului prea repede.

F. MĂSURAREA FISURILOR

§ 30. GENERALITĂȚI

În betonul construcțiilor masive diferența de temperatură dintre interiorul blocului de beton și suprafețele lui exterioare, provocată de variațiile de temperatură ale mediului exterior și de creșterea temperaturii interioare a betonului datorită exotermiei cimentului, poate să creeze eforturi interioare care să depășească rezistența limită a betonului la tensiune și ca urmare betonul să fisureze.

Fisurile au efecte periculoase asupra stabilității și durabilității și micșorează impermeabilitatea betonului, constituind căi de distrugere a blocurilor de beton prin acțiunea apei sau a înghețului.

Fisurile se împart în : fisuri superficiale și fisuri de adâncime.

Fisurile superficiale apar în perioada de încălzire a betonului, la circa 6—8 zile după turnare, și sînt consecința distribuției neuniforme a temperaturii produse de exotermia cimentului și de influența mediului exterior (umiditate, temperatură etc.).

Fisurile de adâncime apar în perioada de răcire a betonului, datorită legăturilor exterioare care împiedică dilatația liberă a blocurilor de beton.

Dacă sub fundația barajului există fisuri de stîncă care se întind pînă în terenul din afara barajului, este necesar să se constate, atît în timpul betonării, cît și după terminarea lucrării și umplerea lacului, dacă nu cumva aceste fisuri se deschid.

Prezența fisurilor se notează în procese-verbale sau în următorul formular în care se arată data primei apariții a fisurilor, situația lor, propagarea în cursul timpului, lărgimea etc.

Denumirea construcției

FORMULAR CU OBSERVAȚII ASUPRA FISURILOR EFECTUATE CU OCHIUL LIBER

Nr. crt.	Data observațiilor	Nr. de fisuri	Orientarea și forma	Lungimea mm	Lățimea mm	Rețeta adoptată	Obs.
1	2	3	4	5	6	7	8

Obs. 1) Se va trece în formular cauza presupusă care a provocat fisurile deci—contractia betonului, tasarea etc. și aprecieri asupra comportării. 2) Formularul va fi însoțit de o schiță a fisurilor.

La fisuri importante se va determina întinderea lor, completîndu-se observațiile prin foraje. După determinarea caracteristicilor fisurilor, se poate trece la injectarea lor pînă la etanșeitatea completă.

§ 31. MĂSURĂTORI FOLOSITE ÎN PRACTICĂ PENTRU MĂSURAREA FISURILOR

Printre măsurătorile folosite pînă în prezent cele mai utilizate sînt :

Măsurătorile cu ajutorul teledetectorului (indicatorul de fisuri).

Măsurătorile cu ajutorul scoabelor.

Măsurătorile cu ajutorul microcomparatoarelor.

Măsurătorile cu ajutorul deformetrului.

Măsurătorile cu ajutorul undelor ultrasonore.

1. Măsurătorile cu ajutorul teledetectorului (indicatorul de fisuri)

Teledetectorul Huggenberger servește la măsurarea fisurilor în limitele unei anumite distanțe de măsurare.

Aparatul se compune dintr-un teledilatometru (vezi cap II, subcap E) prevăzut cu un tub, lung de 1,5—2 m ce se înșurubează la capota 5 a aparatului.

În afară de flanșele terminale, teledilatometrul împreună cu tubul de prelungire se izolează.

Domeniul de măsurare și precizia corespund celor ale teledilatometrului.

2. Măsurătorile cu ajutorul scoabelor

Pentru măsurarea fisurilor în fundația barajului se pot utiliza scoabele (fig. 58).

Scoabele se confecționează din oțel inoxidabil. Capetele scoabei se

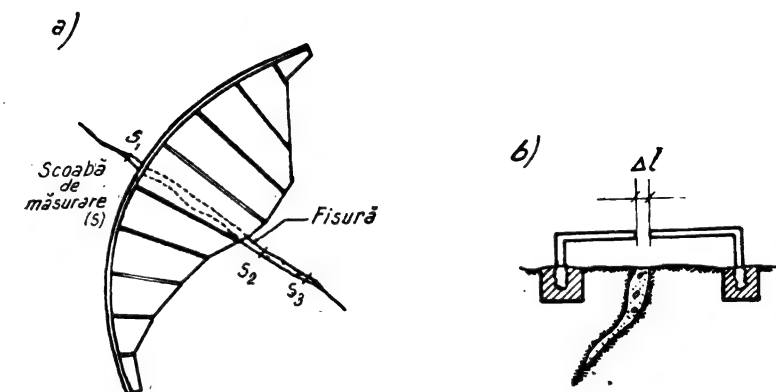


Fig. 58. — Măsurarea deformațiilor fisurilor.

a) repartitia scoabelor de măsurare pe fisura din fundația barajului;
b) măsurarea fisurilor cu ajutorul scoabelor.

betonează de o parte și de alta a fisurii și se taie la mijloc. Se măsoară apoi distanța dintre capetele scoabei îmbetonate, precum și distanța Δl care indică deformația fisurii (fig. 58 b).

În lungul fisurii se pun 2—3 sau mai multe scoabe (fig. 58 a).

al văii și diagramele deformațiilor verticale, orizontale și totale urmărite la 8 rosturi.

Urmărind diagrama, se observă că deplasările orizontale ale barajului în partea biefului aval sînt în general mai mici decît cele verticale, totalizînd circa 50—70% din cele verticale.

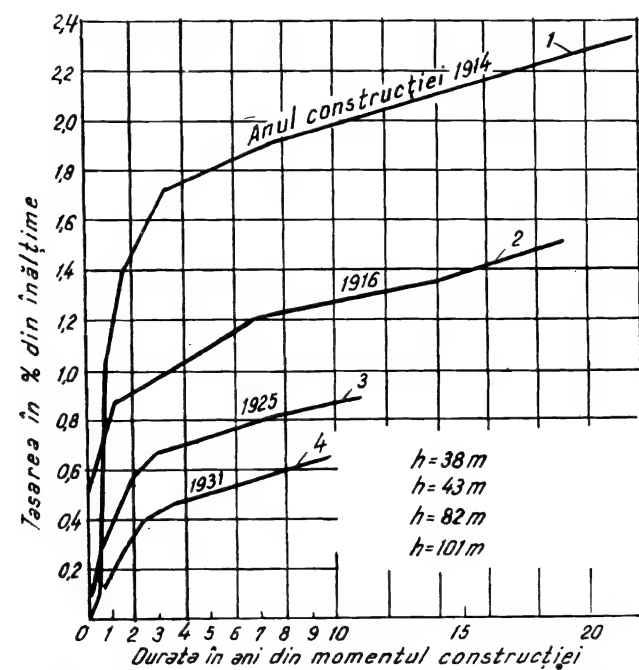


Fig. 61. — Evoluția tasării barajelor de anrocamente.

Tasările ce apar datorită greutății construcțiilor și a presiunii hidrostatice, dată de apa din lacul de acumulare se împart în :

- tasări pozitive, datorită comprimării terenului de fundație;
- tasări negative, datorită umflării fundației.

Umflarea terenurilor se poate produce în urma devărsărilor sau a acțiunii apelor subterane asupra fundației. În general aceste tasări apar la terenurile argiloase și la cele semistîncioase (argilite, șisturi etc).

§ 33. MĂSURĂTORI FOLOSITE ÎN PRACTICĂ PENTRU DETERMINAREA TASĂRIILOR

Printre metodele cele mai folosite pînă acum la determinarea mărimii tasărilor sînt :

- Măsurătorile de nivelment.
- Măsurătorile cu „balanța hidrostatică”.
- Măsurătorile cu vergea metalică.

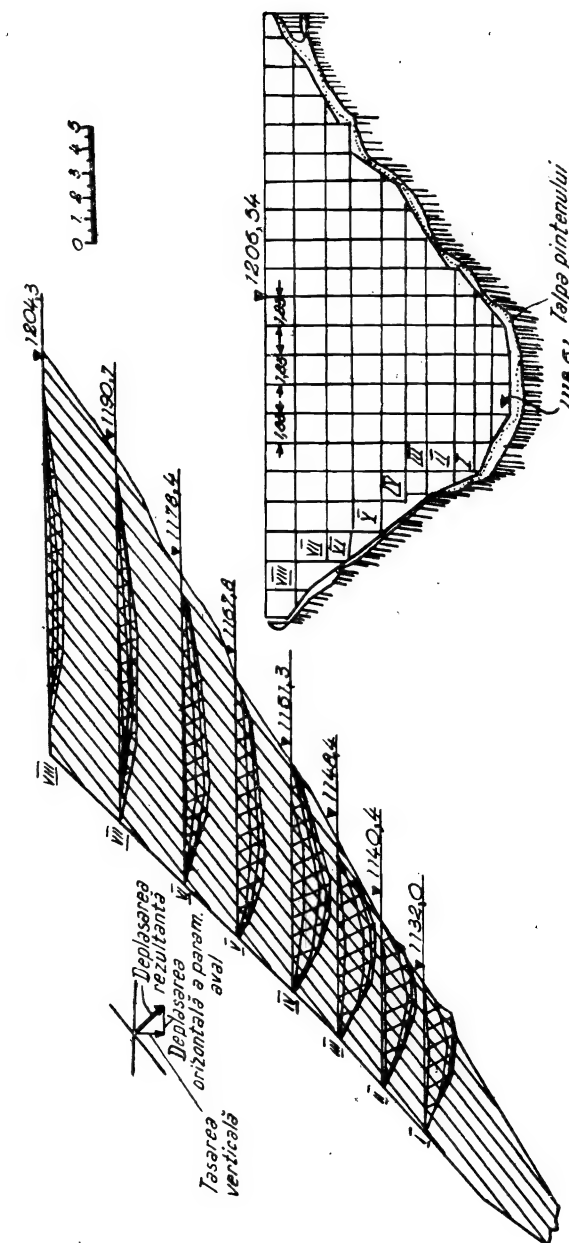


Fig. 62. — Diagrama tasărilor în decurs de 8 ani.

1. Măsurătorile de nivelment

Această metodă a fost descrisă la cap. II, A referitor la măsurătorile geodezice. Aici insistăm numai asupra faptului că este necesar ca înainte de începerea betonării să se determine nivelul suprafeței stîncii de fundație printr-un nivelment de înaltă precizie.

Pentru aceasta se folosesc borne și repere montate atât în apropierea locului de amplasare a construcției, cît și la o distanță la care greutatea construcției și a apei din lacul de acumulare să nu aibă influențe asupra lor.

Din experiență s-a văzut că pentru măsurarea tasărilor în partea amonte a barajului sînt indicate repere fixe în galeria inferioară (de injecții sau drenaje) din baraj, întrucît aceste repere sînt accesibile în permanență.

În partea aval sînt suficiente reperele fixate pe parametrul aval al barajului, deasupra nivelului apei.

Amplasarea reperelor și a stațiilor trebuie să se facă cu participarea geologului care stabilește locurile indicate.

2. Măsurătorile tasărilor cu „balanța hidrostatică”

Balanța hidrostatică este un sistem sensibil de vase comunicante.

Capetele furtunului sau ale conductei metalice 1 sînt legate de doi cilindri de sticlă 2, prevăzuți la partea inferioară cu o prelungire cu robinet 3 (fig. 63).

Datorită suportului 4, cilindrul de sticlă se poate fixa pe stîncă sau pe peretele galeriei din baraj.

Pentru ușurința fixării, se montează în beton suporturile fixe 5.

La capătul opus, cilindrul de sticlă este prevăzut cu un dispozitiv 6, ce permite, prin înșurubare, contactul cu flotorul 7, care urmărește variațiile nivelului apei din interiorul cilindrului de sticlă. Diametrul cilindrului de sticlă se ia de 8—10 cm.

Întreg dispozitivul de măsură I se fixează, de exemplu, pe peretele amonte al galeriei inferioare din baraj, iar dispozitivul de măsură II se fixează în afara barajului, pe stîncă, conform figurii 64.

Ambele dispozitive sînt legate între ele printr-un furtun sau printr-o conductă de oțel 1 (fig. 64), prevăzute cu amortizoare contra loviturilor apei.

În timpul măsurării se introduce apă în aparat astfel încît nivelul apei să corespundă exact la cele două dispozitive I și II.

În urma tasării barajului apare o diferență de nivel V la dispozitivul I.

Diferența de nivel V indică valoarea tasării și se poate citi fie direct pe gradația milimetrică de precizie a cilindrului, fie cu o riglă mobilă prevăzută cu un vernier.

La utilizarea acestui sistem de măsurare se va avea în vedere că:

a) În timpul măsurării, apa din conducte și din cilindri de sticlă trebuie să aibă aceeași temperatură.

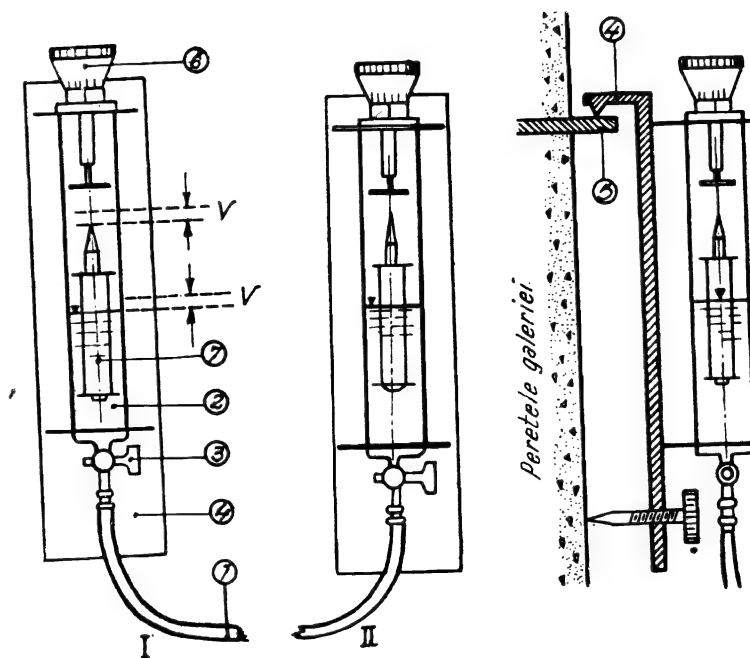


Fig. 63. — Balanța hidrostatică pentru măsurarea tasărilor.

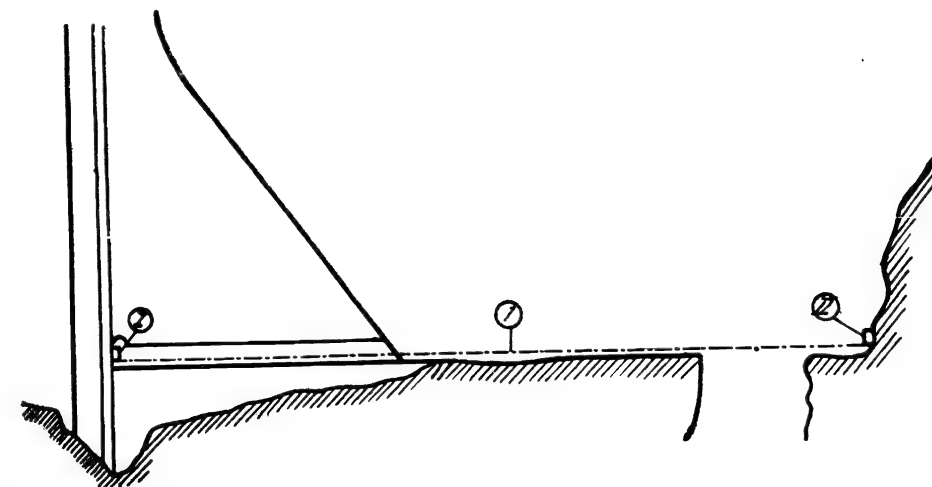


Fig. 64. — Schema de fixare a balanței hidrostatice pentru măsurarea tasărilor.

Este suficient ca apa din cilindrii prin influența căldurii sau prin bule de aer, să aibă o greutate specifică schimbată, pentru ca citirea să fie greșită.

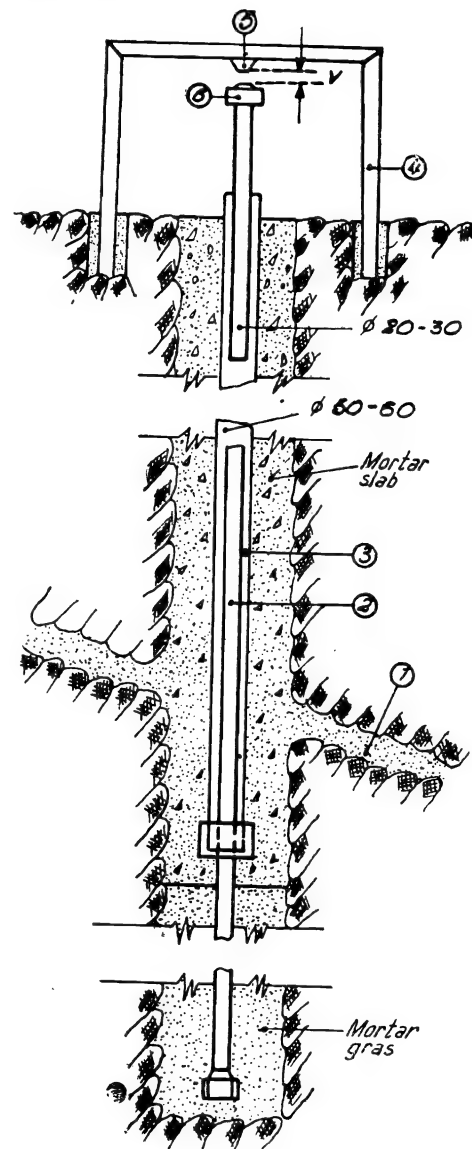


Fig. 65. — Instalație pentru măsurarea tasărilor (vergea metalică).

tehnica tratării fisurilor prin injecții, pentru a se evita ca presiunea de injectare să treacă de o valoare limită după care stînca de fundație

b) Prima citire este necesară înainte de începerea betonării barajului.

Această metodă este în curs de perfecționare.

Precizia practică este de 0,5 mm.

3. Măsurătorile cu vergeaua metalică

Pentru tasări provenite în urma închiderii sau deschiderii unor zone 1 din interiorul terenului de fundație, se utilizează cu bune rezultate instalația din figura 65. Pentru acest scop, se îmbetonează în fundație o vergea metalică 2, al cărei capăt ajunge pînă la o adîncime la care presupunem că influența provenită din greutatea barajului este practic nulă.

Diametrul vergelei este de 20—30 mm.

În afară de partea de jos, unde vergeaua metalică este încastrată, ea parcurge liber toată înălțimea pînă la suprafața datorită conductei 3 care are un diametru 50—60 mm.

La suprafață, se prevede un cadru metalic 4, prevăzut cu un reper 5 în dreptul capătului vergelei 2. Pentru ușurința măsurătorilor, capătul vergelei metalice primește o formă specială 6.

Variația V dintre reperele 5 și 6 ne dă valoarea tasărilor.

Citirea se face cu ajutorul unui micrometru sau al unui micrometru comparator.

Instalația din figura 65 se utilizează cu bune rezultate și în tehnica tratării fisurilor prin injecții, pentru a se evita ca presiunea de injectare să treacă de o valoare limită după care stînca de fundație

s-ar ridica împreună cu blocul de beton al barajului, lucru ce ar fi în detrimentul fundației.

Prezența tasărilor precum și observațiile și aprecierile asupra comportării construcțiilor tasate se trec în următoarele formulare:

Denumirea construcției

FORMULARE TIP PENTRU INREGISTRAREA TASĂRIILOR

Nr. crt.	Amplasarea reperelor	Nr. reperelor	Perioada de la ... pînă la ...	Tasarea totală de la începutul observațiilor	Perioada de la ... pînă la ...	Tasarea totală de la începutul observațiilor	Perioada de la ... pînă la ...	Tasarea totală de la începutul observațiilor	Obs.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Obs. Formularul va fi însoțit de un grafic cu cotele absolute.

Denumirea construcției

FORMULAR CU EVIDENȚA TASĂRII REPERELOR DE ADÎNCIME ÎN TERENUL DE FUNDATIE AL BARAJELOR DE PĂMÎNT ȘI ANROCAMENTE

Nr. crt.	Data observațiilor	Amplasarea reperelor de adîncime	Nr. reperelor	Cota absolută a capului tijei în m	Cota absolută a marginii tijei în m	Temperatura aerului în tub °C	Cota absolută a reperului de înălțime instalat lîngă tub	Obs.
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Obs. Formularul va fi însoțit de grafice și planuri.

H. MĂSURĂTORI RADIALE ÎN GALERII

§ 34. DISPOZITIVE PENTRU MĂSURĂTORI RADIALE ÎN GALERII

Galeriile sau tunelurile datorită atît presiunii hidrostatice cît și presiunii litostatice suferă deformări.

Aceste deformări se manifestă prin micșorarea sau mărirea diametrului galeriei.

Până în prezent s-au imaginat mai multe aparate pentru măsurarea capacității de deformare a galeriilor.

Dintre acestea cităm :

- Verificatorul de galerie de tip Huggenberger.
- Dispozitivul pentru determinarea dilatării perimetrului galeriei.
- Dispozitivul mecanic pentru determinarea deformațiilor radiale etc.

1. Verificatorul de galerie

Verificatorul de galerie de tip Huggenberger permite determinarea deformațiilor radiale ale galeriilor.

Aparatul se compune din următoarele piese :

- a) dozele emițătoare ;
- b) suportii dozelor emițătoare ;
- c) conductorii de legătură ;
- d) aparatul indicator ;
- e) dispozitivul de verificare.

a) *Doze emițătoare.* Doza emițătoare (fig. 66) se compune din mecanismul de măsurare și dispozitivul electric pentru transmitere la distanță, ambele protejate de o carcasă metalică 1 umplută cu ulei.

Mecanismul de măsurare este prevăzut cu un palpor 2 și are un raport de multiplicare 1 : 100.

Dispozitivul electric se compune din două potențiometre, dintre care unul servește pentru măsurarea brută, iar celălalt pentru măsurarea fină. Izolatorii de trecere prin pereții carcasei sunt bujii modificate notate cu A, B, C și D.

Borna E fixată pe flanșă servește pentru racordul de masă.

Carcasa metalică 1 este prevăzută la partea superioară cu o membrană plastică subțire, protejată contra avarierii printr-un capac perforat 3. Capacul de jos este executat din plexiglas.

b) *Suportii dozelor emițătoare.* Fiecare doză se montează pe un suport 4, 5, 6 (fig. 70 și fig. XI b).

Tubul 5 se confecționează din oțel și are posibilitatea să culiseze în interiorul tubului 4.

Capetele tuburilor 4 și 5 sunt prevăzute cu dibluri 6 care se încastrează în peretele galeriei.

Doza emițătoare 1 se montează pe tubul 4 cu ajutorul unei bride, iar pe tubul 5 se montează placa de acționare 7 astfel ca să atingă palporul 2.

Deplasarea reciprocă a celor două tuburi produce deplasarea palporului.

c) *Conductorii de legătură.* Legătura între dozele emițătorului și aparatul indicator se face cu fire de cupru izolate. Secțiunea minimă a conductorilor se ia de 1 mm².

La dozele emițătoare firele se leagă la cele patru borne A, B, C și D echipate cu izolatori ceramici de trecere (fig. 66 și 71). La aparatul indicator, firele B, C, D se leagă la bușele de racord corespunzătoare, iar conductorii A și E sunt comuni pentru toate dozele (fig. 71).

d) *Aparatul indicator.* Aparatul este montat într-o cutie de lemn 8 (fig. 67 și XI a).

Pe placa frontală se văd următoarele piese :

- bușele de racord 9 pentru fișele de legătură ale conductorilor

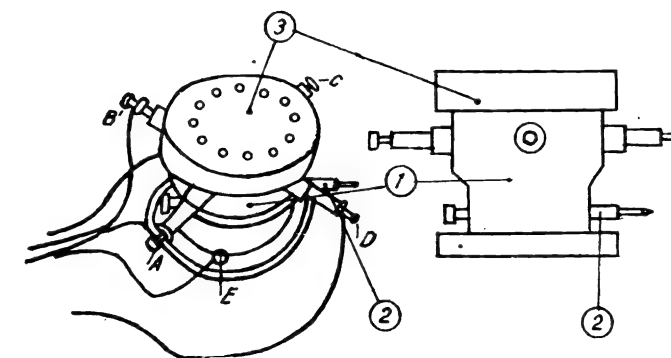


Fig. 66. — Doza emițătoare.

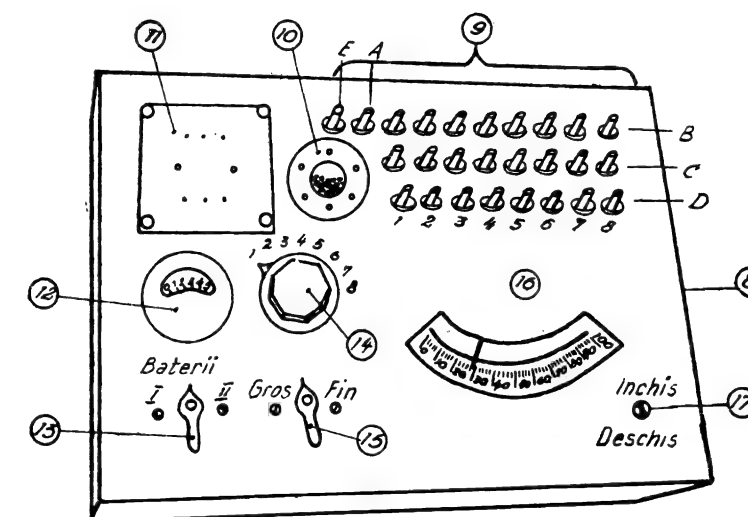


Fig. 67. — Aparatul indicator.

cu dozele emițătoare, numerotate de la 1 la 8 pentru racordul a maximum opt doze ;

— cilindrul 10 umplut cu gel albastru pentru deshidratarea aerului din aparatul indicator ;

— cutia 11 cu trei baterii de lămpi de buzunar a 4,5 V ;

— voltmetrul 12 pentru controlul bateriilor ;

— comutatorul 13 pentru controlul tensiunii bateriilor ;

— comutatorul-selector 14 pentru racordarea la doze ;

- comutatorul de măsură 15 pentru măsurarea brută și măsurarea fină;
- scala cu indicator 16 divizată de la 0 la 100;
- întrerupătorul principal 17.

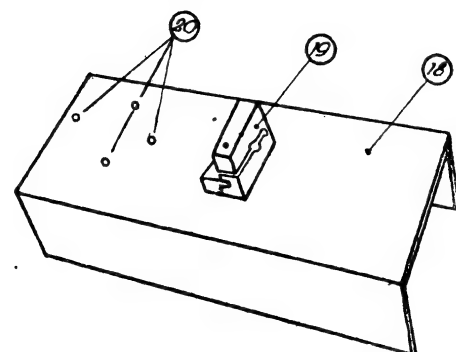


Fig. 68. — Dispozitivul de verificare.

e) *Dispozitivul de etalonare.* Dispozitivul din figura 68 și XI c se folosește atât la verificarea dozelor emițătoare cât și la construirea curbelor de etalonare.

Aparatul se compune dintr-un profil U 18 pe care se prinde suportul 19 și doza emițătoare în găurile 20. În suport se fixează micrometrul din figura 69. Micrometrul se fixează de așa manieră ca vârful palpor al dozei să poată fi deplasat cu ajutorul șurubului micrometric pe distanța de măsurare.

Micrometrul are o precizie de 0,01 mm și un domeniu de măsurare de 25 mm.

Principiul de funcționare al aparatului este următorul:

Deplasarea relativă a tuburilor 4 și 5 acționează palporul a cărui deplasare se citește pe aparatul indicator.

În figura 70 este redată schema de funcționare a verificatorului de galerie. Dacă presiunea litostatică acționează mai puternic și avem deplasările indicate în figura 70 a, atunci diametrul galeriei se micșorează.

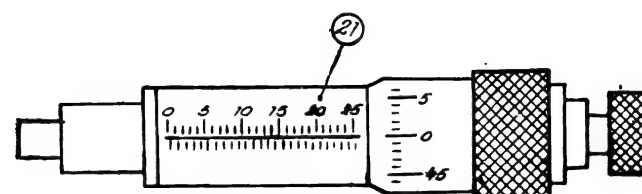


Fig. 69. — Micrometrul.

Dacă deplasările sînt de sens invers (fig. 70 b) atunci diametrul galeriei crește.

Schema electrică a verificatorului de galerie este redată în figura 71, pe care se poate urmări conectarea conductorilor la dozele emițătoare și la aparatul indicator.

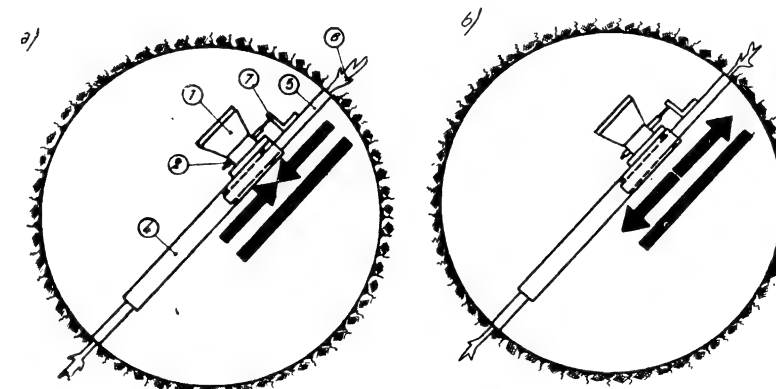
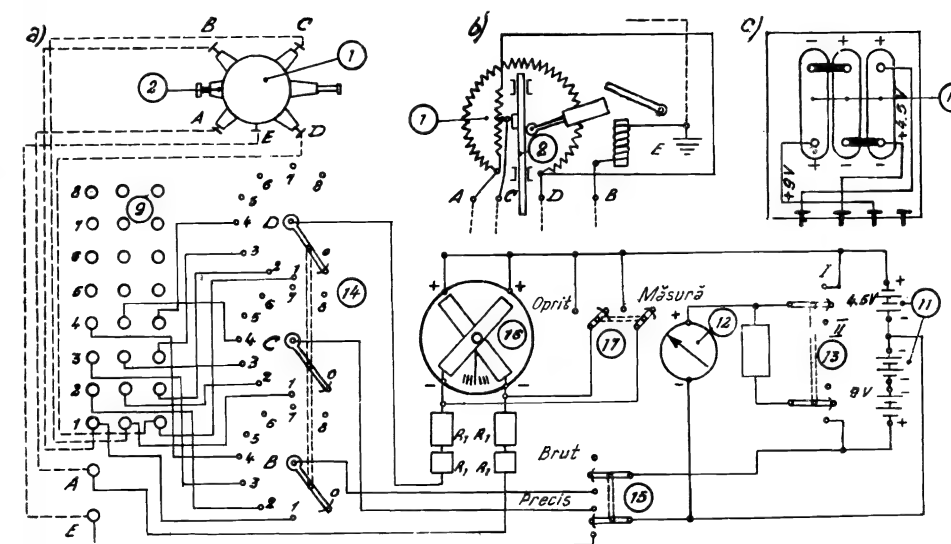
Atît înainte, cît și după instalarea și efectuarea măsurătorilor în galerie, dozele trebuie supuse unei etalonări atente.

Pentru fiecare doză emițătoare se construiesc două curbe de etalonare și anume o curbă de etalonare pentru măsurătoarea brută și o curbă de etalonare pentru măsurătoarea de precizie.

Curba de etalonare pentru măsurători brute nu indică decît intervalul la care se află vârful palpor. Se vede și din figura 72 că la o deplasare

a palporului pe întreaga cursă de măsurare, indicatorul de citire nu parcurge decît o parte a scalei.

Curba de etalonare a măsurătorii de precizie se compune din zece

Fig. 70. — Schema de funcționare a verificatorului de galerie.
a) diametrul galeriei se micșorează; b) diametrul galeriei crește.Fig. 71. — Schema electrică a verificatorului de galerie.
a) schema generală; b) schema doze emițătoare; c) schema de racordare a bateriilor.

decade, deoarece la o deplasare de 1 cm a palporului, indicatorul aparatului parcurge toată scala (fig. 72).

Pentru etalonare se montează doza și micrometrul pe dispozitivul de verificare și se face legătura prin intermediul conductorilor cu aparatul indicator.

În timpul măsurătorilor de precizie palporul nu trebuie să fie mișcat, la măsurători brute, vârful palporului poate fi mișcat.

La etalonarea dozelor trebuie să se țină seama de rezistența ohmică a conductorilor montați pentru măsurarea în galerie.

Se recomandă atât la etalonări, cât și la măsurători în galerii, să se folosească aceiași conductori de legătură.

Suportii se montează pe un diametru al galeriei, prin îmbetonarea diblurilor 6 (fig. 70); după întărirea betonului se montează mai întâi doza

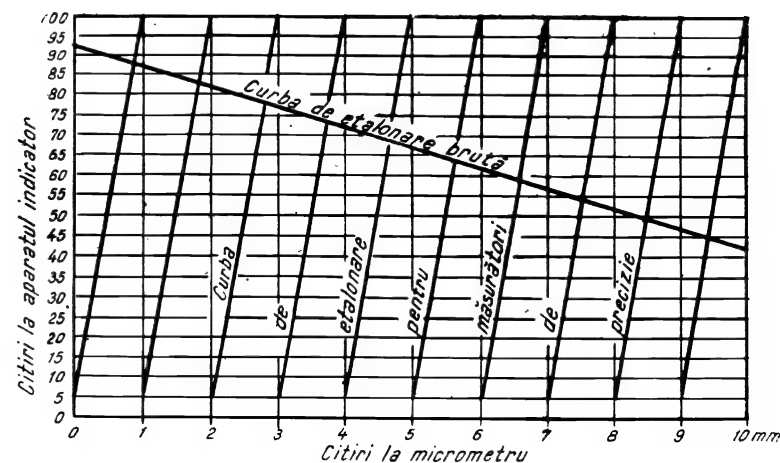


Fig. 72. — Curbele de etalonare ale unei doze emițătoare.

emițătoare pe tubul 4 prin intermediul unei bride și apoi cornierul 7 pe tubul 5, astfel încât vârful palpor să fie deplasat din poziția de repaus cu câțiva milimetri pentru a exista posibilitatea înregistrării deformațiilor în amândouă sensurile.

Se face apoi racordarea conductorilor. Conductorii de la bornele B, C, D se conectează separat între doze și aparatul indicator. Conductorii A și E sînt comuni tuturor dozelor.

Punctele de legătură la doze se înfășoară cu o bandă izolatoare. Trecerea conductorilor se face prin peretele dopului de beton, folosind sau presetupe sau tuburi metalice umplute apoi cu o substanță bituminoasă. Aparatul indicator se montează la loc uscat, pînă la o distanță de circa 500 m de galeria de încercări.

În timpul măsurătorilor trebuie respectate o serie de reguli:

a) Se va da o atenție deosebită ca în timpul măsurătorilor de precizie, palporul să nu fie mișcat. La măsurători brute, palporul poate fi mișcat.

b) Pe orificiile palporului sînt prevăzute, pentru protecție și etanșare, manșete din material plastic, care în timpul citirii se îndepărtează, punîndu-se suportul și vârful palpor.

Bila vârfului palpor se înșurubează în direcția în care palporul este mai lung.

c) La umplerea cu apă a galeriei apar diferențe de temperatură atât în aparatele de măsură, cât și în pereții galeriei, de aceea punerea sub presiune a galeriei se face numai după ce temperaturile din interior s-au compensat.

d) Mărirea presiunii din galeria de încercări se face în trepte.

e) Măsurătorile de precizie se execută numai după ce temperatura în cameră este constantă. Ori de cîte ori se fac măsurători de precizie ele trebuie făcute rapid.

f) Valorile măsurate se trec în grafice imediat, pentru a se putea repeta măsurătorile cu rezultate dubioase.

g) Măsurătorile trebuie executate la temperaturi peste 0°C din cauza viscozității uleiului.

Pentru ca măsurătorile să se facă în bune condiții, trebuie ca aparatura să aibă o îngrijire specială:

Virful palpor se unge cu vaselină.

Uleiul care se pierde în timp la doze se înlocuiește prin gaura lăsată în urma deșurubării izolatorului ceramic. Se va evita introducerea de bule de aer la înlocuirea uleiului.

Suportii dozelor se ung periodic pentru a-i feri de rugină.

În caz de nefolosire, bateriile trebuie scoase și aparatul depozitat într-o cameră uscată.

Deshidratarea aerului din interiorul aparatului se face cu un gel albastru pus în cilindrul de sită 10 (fig. 67). Gelul își recapătă culoarea albastră și proprietatea de a deshidrata din nou prin încălzirea lui la 150°C.

Întreprupătorul principal 17 trebuie deschis după terminarea măsurării și în special la transportul aparatului.

2. Dispozitivul pentru determinarea dilatării perimetrului galeriei

Un alt aparat pentru înregistrarea deformațiilor este dispozitivul pentru determinarea dilatării perimetrului galeriei.

Metoda constă în a întinde pe perimetrul galeriei o bandă de oțel pe niște role uniform repartizate. Un capăt al benzii se fixează în beton, iar celălalt este în legătură cu niște pîrghii.

Mișcarea capătului benzii, ceea ce este același lucru cu lungirea perimetrului galeriei, se înregistrează pe cale electrică. Această metodă arată lungirea perimetrului galeriei, din care se poate calcula valoarea medie a diferenței radiale a galeriei.

Metoda nu ne dă posibilitatea de a determina valoarea reală a dilatației radiale.

3. Dispozitivul mecanic pentru determinarea deformațiilor radiale

Dispozitivele mecanice au în locul suporturilor niște tije metalice dispuse după diametrul galeriei și care acționează asupra vârfului palpor al microcomparatoarelor.

Microcomparatoarele sînt situate într-un tub metalic pentru a fi protejate, iar citirea se face pe cale optică cu ajutorul unui teodolit instalat la capătul tubului.

În figura 73 se dă schema de funcționare a microcomparatoarelor.

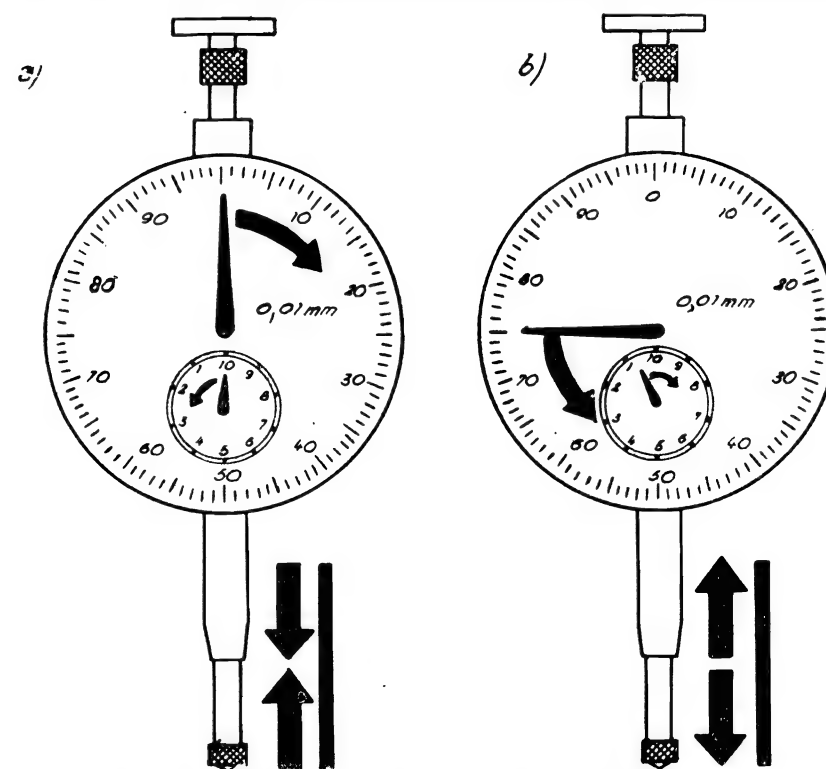


Fig. 73. — Schema de funcționare a microcomparatoarelor:
a) diametrul galeriei se micșorează; b) diametrul galeriei crește.

Se observă că la mărirea numărului de milimetri diametrul galeriei se micșorează, iar la micșorarea numărului de milimetri diametrul galeriei crește.

§ 35. PROGRAMUL MĂSURĂTORILOR

- 1) Prima măsurătoare se face după închiderea etanșă a porții. Concomitent se măsoară și temperatura apei introduse în galeria de încercări.
- 2) A doua măsurătoare se face după umplerea galeriei cu apă.
- 3) Măsurătorile se continuă apoi din 3 în 3 ore, pînă la compensarea temperaturilor din interior.
- 4) Presiunea se ridică în trepte de cîte o atmosferă. După fiecare treaptă urmează o pauză de o oră, timp în care se fac două citiri: una

imediat după atingerea presiunii respective, cealaltă înainte de a începe treapta următoare.

5) La 5 kg/cm², la 10 kg/cm², la 15 kg/cm² etc. presiunea se reduce la zero, galeria se golosește și se controlează comportarea cămășuielii, prezența fisurilor etc.

Măsurătorile se fac imediat după atingerea presiunii de zero, apoi la galeria goală, după terminarea controlului, la galeria plină de apă, și se continuă după indicațiile prescise.

6) O dată cu măsurătorile de deformații trebuie făcute și măsurători de temperatură, de permeabilitatea betonului etc.

7) Pentru perioade lungi de măsurători se stabilește un plan tematic care ține seama atât de caracteristicile specifice rocii respective, cît și de cămășuiala de beton.

CAPITOLUL III

MĂSURĂTORI DE DEFORMAȚII ÎN INTERIORUL CONSTRUCȚIILOR MASIVE

4. MĂSURAREA TEMPERATURII ÎN CONSTRUCȚIILE DE BETON

§ 1. GENERALITĂȚI

Este cunoscut faptul că în funcție de felul și dozajul cimentului din beton se dezvoltă fenomene exotermice, la care temperatura betonului turnat se ridică cu 15—40°C peste temperatura de turnare.

În blocurile de beton din care se compune construcția, de exemplu barajul, temperatura se ridică datorită degajării de căldură de către ciment, până când aceasta din urmă este echilibrată de pierderile de căldură pe conturul blocului. Din acest moment începe perioada de răcire.

Răcirea construcției începe de la temperatura maximă atinsă în momentul echilibrului degajării de căldură de către ciment și a pierderilor de căldură până la temperatura medie multianuală a regiunii respective. Acest proces poate să dureze ani de zile.

Prof. L o s s m a n n (Cehoslovacia) arată că la un baraj din Cehoslovacia cu o înălțime de 50,65 m temperatura maximă, măsurată în timpul întăririi, după două zile de la turnarea betonului marca P 331, a fost de 45,8°C adică cu 23—24°C mai mult decât temperatura exterioară.

După două luni această temperatură a scăzut la 42°C continuând apoi să scadă în așa fel, încât de-abia după trei ani s-a constatat în beton o temperatură corespunzătoare temperaturii medii anuale din exterior.

Răcirea barajului Bleiloch a durat timp de șase ani.

La barajul american Boulder, răcirea a atins maximum abia după mai mult de zece ani.

Din această cauză se produc în beton mai întâi deformații de dilatare a volumului datorită creșterii temperaturii, apoi deformații datorită scăderii temperaturii.

Eforturile care iau naștere, datorită acestor deformații, depind în mare măsură de cantitatea de căldură ce se degajă de către ciment, iar valoarea lor, poate depăși rezistența la tensiune a betonului și ca urmare construcțiile pot fisura.

În lucrarea sa, B. F. Gorianov arată că barajul Coolidge (S.U.A.), construit pe stîncă în bolți multiple, între anii 1927—1928 cu o înălțime de 67 m, s-a avariat în anul 1928 din cauza eforturilor de temperatură și de contracție, eforturi ce au depășit rezistența betonului la întindere. În părțile de sus ale cupolelor marginale au apărut fisuri de 1,5—2,5 mm lățime.

§ 2. SCOPUL MĂSURĂTORILOR

Măsurătorile de temperatură din interiorul blocurilor de beton ale construcțiilor masive au ca scop să urmărească:

1. Variația temperaturii în funcție de timp în cele două faze:

a) în faza de încălzire a blocului ca urmare a căldurii degajată la priza și întărirea betonului și provenită de la procesul de hidratare și b) în faza de răcire a betonului, pe o perioadă foarte lungă.

2. Influența temperaturii din lamelele superioare asupra temperaturii din lamelele inferioare.

3. Schimbările de temperatură în funcție de temperatura mediului ambiant și a apei din lacul de acumulare.

4. Constatarea începerii infiltrațiilor de apă în corpul barajului, atît în partea amonte cît și în rosturile fundației. Aceasta se manifestă printr-o scădere mai mare a temperaturii barajului în punctele de infiltrație.

5. Constatarea fisurilor (de exemplu, într-un loc în blocul de beton al unui baraj unde nu erau posibile schimbări vizibile ale temperaturii atmosferice, a început căldura să urmeze variațiile temperaturii exterioare și prin aceasta s-a observat origina fisurilor parcurgînd în apropierea acestui loc).

§ 3. FACTORII DE CARE DEPINDE DESFĂȘURAREA PROCESULUI TERMIC ÎN MASELE DE BETON

Cunoașterea temperaturii în timpul întăririi betonului a lămurit desfășurarea procesului termic din masele mari de beton și diferite fenomene care rezultă din aceasta, în special formarea fisurilor în corpul barajului, ducînd la ideea de răcire artificială a betonului. Acest procedeu se folosește cu bune rezultate la barajele înalte (de exemplu, Boulder, Hohenwart etc.), limitînd astfel efectul dăunător produs de exotermia cimentului.

Rezultatele observărilor permit un control asupra calculului de stabilire a distanței dintre rosturile de dilatație, avîndu-se în vedere efectul contracției și procesul termic.

Deci, la lucrările din beton de mare masivitate, cum ar fi cheiurile, barajele etc., prezintă mare importanță cunoașterea căldurii degajată cu ocazia prizei și întăririi betonului și provenită de la procesul de hidratare.

Cantitatea de căldură degajată și durata de degajare depind de următorii factori:

a) temperatura inițială a betonului și a mediului ambiant;

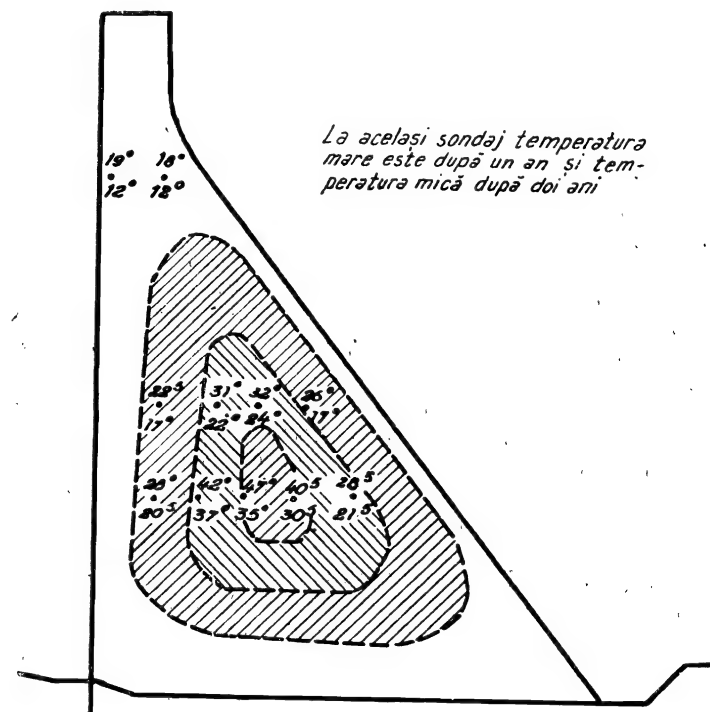


Fig. 74. — Temperatura într-un baraj de greutate la un an și la doi ani de la turnare.

b) compoziția mineralogică a cimentului și dozajul de ciment (kg/m^3) de beton;

c) factorul $\frac{a}{c}$ (apă : ciment);

d) grosimea masivului de beton.

Cantitatea de căldură ce se dezvoltă prin hidratare într-un ciment normal de construcție (tip portland) se ridică în timp de 7 zile la circa 90—100 cal/g, iar la 28 zile poate atinge chiar 120—130 cal/g.

Degajarea de căldură în decursul timpului se vede în figura 74 în care se dă variația temperaturii în interiorul unui baraj după un an și doi ani de la construire. Betonul a fost executat cu un ciment portland.

§ 4. PRINCIPIUL DE BAZĂ AL APARATELOR DE MĂSURĂ

Temperaturile din interiorul masivelor de beton se măsoară cu diferite aparate, cele mai curenț întrebuințate fiind termometrele cu rezistență electrică. Aceste aparate sînt bazate pe proprietatea că la conductorii metalici ai curentului electric rezistența electrică variază cu temperatura.

În afară de termometrele construite pe principiul rezistenței electrice, s-au construit termometre bazate pe principiul coardelor vibrante (termometre tip Schaffer (Germania) etc.).

1. Teletermometrul Huggenberger

Aparatul constă dintr-un dorn izolat 1, masa de umplere 6 și manșonul de protecție 5. Peste dornul 1 se înfășoară o sîrmă de rezistență

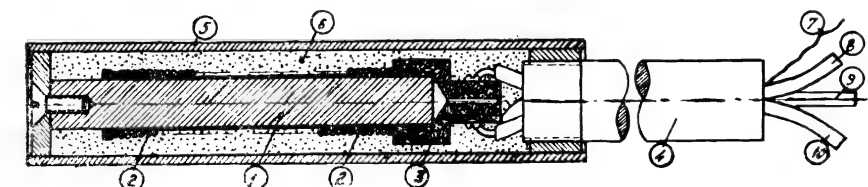


Fig. 75. — Secțiune prin teletermometru.

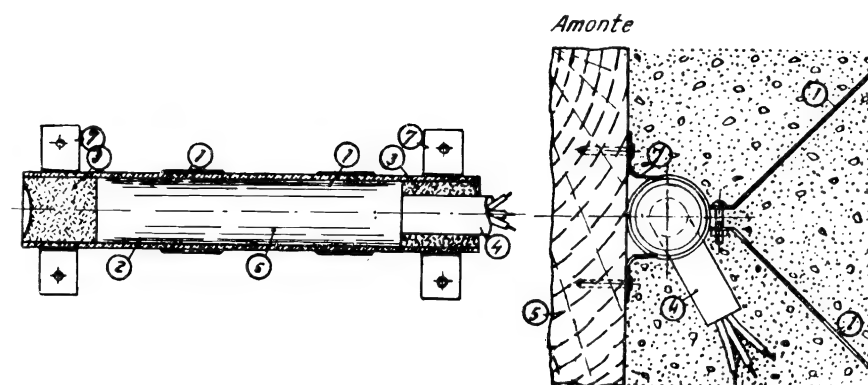


Fig. 76. — Așezarea teletermometrului pe paramentul amonte.

2 (fig. 75). Conductorii cablului 4 mai sînt prevăzuți și cu un fir metalic 7, care scutește cablul de a mai fi folosit ca aparat de tracțiune.

Pentru luarea temperaturii în lacul de acumulare, H u g g e n b e r g e r prevede un manșon de protecție 2 (fig. 76), în care vine introdus teletermometrul 6, care se închide de ambele părți cu o masă etanșă la apă 3. Pentru a împiedica pătrunderea apei prin cablul 4, acesta este etanș.

Manșonul de protecție se bate în cuie cu ajutorul bridelor 7 de cofrajul 5, cele două benzi de fier 1 servind ca armătură în beton.

În figura 76 se redă modul de legare al teletermometrului pe paramentul amonte al barajului după Huggenberger.

Caracteristicile aparatului sînt următoarele:

- rezistența bobinei, $\approx 25 \Omega$;
- domeniul de măsurare, $-20^{\circ} \div +100^{\circ}\text{C}$;
- sensibilitatea, $0,1^{\circ}\text{C}$;
- diametrul manșonului, 23 mm;
- lungimea aparatului, 100 mm.

Variația rezistenței se înregistrează cu ajutorul telohmetrului, care dă o precizie de $0,2^{\circ}\text{C}$.

2. Termometrul cu rezistență electrică (R.P.R.)

În urma colaborării dintre Institutul de studii și cercetări energetice și Institutul de fizică al Academiei R.P.R., s-a realizat un termometru cu rezistență electrică.

Termometrul este construit dintr-un tub de pertinax 2 peste care se înfășoară o bobină 3 din fir de cupru emailat (fig. 77).

Acest sistem este protejat prin tubul de alamă 1, care se închide în unul din capete prin dopul de alamă filetat 5.

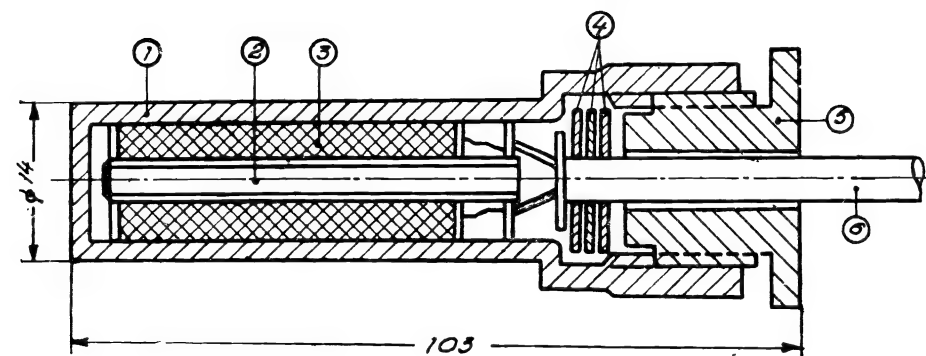


Fig. 77. — Termometrul cu rezistență electrică (R.P.R.).

Termometrul mai este prevăzut și cu șaibele de cauciuc 4 pentru izolație.

Cablul de legătură 6 este de două ori cauciucat, pentru a rezista bine în beton la eforturi și umezeală.

Aparatele au fost experimentate, iar rezultatele obținute au fost bune.

Caracteristicile aparatului sînt următoarele:

- diametrul firului, 0,1 mm;
- lungimea firului, 115 mm;

— lungimea firului este astfel aleasă, încît termometrul să aibă o rezistență de 235Ω la $t = 0^{\circ}\text{C}$ și să dea o creștere de rezistență $r = 1 \Omega/^{\circ}\text{C}$.

— domeniul de măsurare, $-30 \div +70^{\circ}\text{C}$.

§ 5. REGULI DE AMPLASAREA TERMOMETRELOR ÎN CONSTRUCȚIILE DE BETON

Se va căuta, pe cît posibil, a se ține seama de următoarele reguli:

1) Termometrele vor fi astfel amplasate încît să cuprindă cel puțin un profil întreg. Se va ține seama de suprafața influenței atmosferice; în acest sens se vor plasa aparate mai dese la suprafață, deoarece ne interesează pe ce porțiuni zonele din apropierea paramentelor sînt supuse variațiilor sezoniere ale temperaturii, care depind de variațiile temperaturii aerului și ale apei care înconjură barajul.

2) Termometrele să fie așezate astfel încît să avem posibilitatea de a măsura temperatura în toate mărcile de beton, începînd cu primul strat de beton, turnat direct pe stîncă.

3) Se recomandă să se măsoare și temperatura din rostul de contact al betonului cu stîncă, unde se manifestă influența apei și în special a celei de subpresiune.

În figura 78 se dă modul de instalare a termometrului în stîncă.

4) Avînd în vedere că felul terenului condiționează în mare măsură pierderile de căldură prin talpa barajului, se vor prevedea rînduri de termometre așezate vertical, plecînd de la beton prin talpa barajului în interiorul rocii de fundație. Acest lucru ne permite să avem o imagine clară asupra pierderii de căldură prin fundație.

5) Dispoziția în rînduri a termometrelor și a telepresmetrelor permite o apreciere a mărimii capacității de deformare a terenului de fundație și a repartiției presiunii pămîntului.

6) Este recomandabil ca, încă în timpul amenajării definitive a fundației, să se cunoască planul de repartizare a termometrelor electrice, atît în fundație cît și pe rostul fundației, astfel încît să se poată stabili și pregăti locurile indicate nu numai pentru aparate, dar și pentru conductele de cablu, stațiile provizorii de măsură etc.

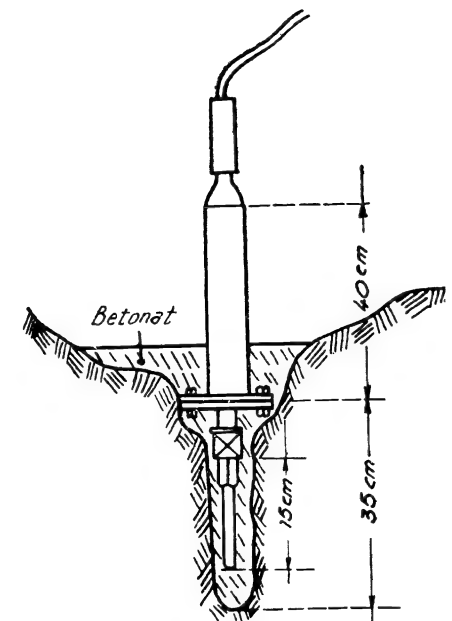


Fig. 78. — Montarea termometrului în stîncă.

Se va căuta ca pe cât posibil termometrele din fundație să fie instalate în puțuri verticale, fapt care ușurează mult lucrările.

7) Aparatele trebuie amplasate la timp, astfel ca măsurătorile să se poată face în timpul degajării căldurii datorită prizei și întăririi betonului.

§ 6. MĂSURAREA ȘI CALCULAREA TEMPERATURILOR

Rezistența bobinei în termometru crește o dată cu ridicarea temperaturii. Dacă cunoaștem rezistența termometrului la o anumită tem-

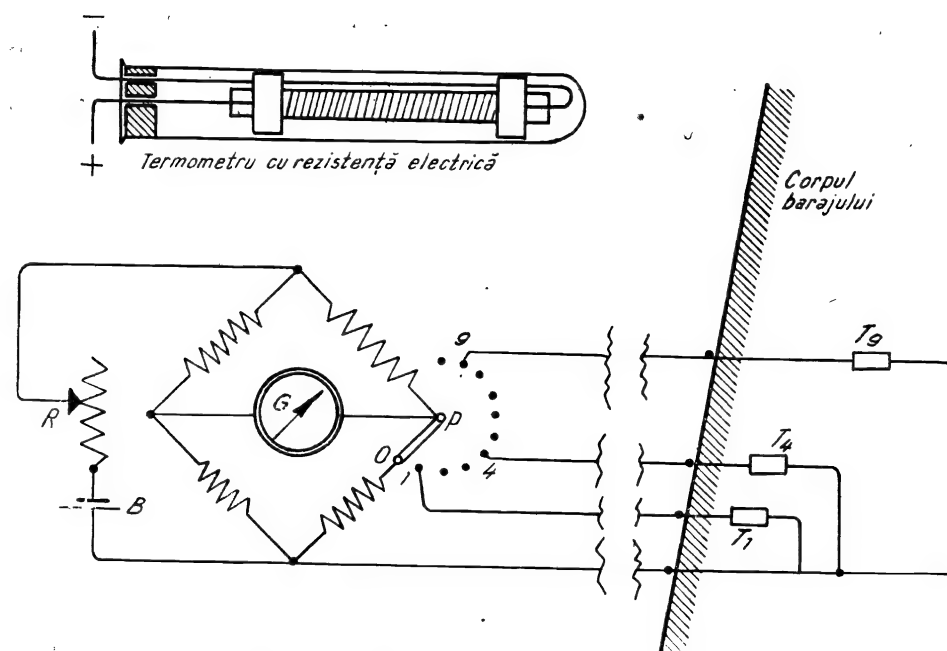


Fig. 79. — Schema de măsurarea temperaturii.

peratură, precum și variația rezistenței termometrului pentru 1°C, putem să obținem variațiile temperaturii.

În figura 79 se dă schema de măsurarea temperaturii.

De la fiecare termometru T_1 până la T_5 este dusă o conductă de cablu așezată direct în beton, până la stația definitivă de măsurători, care de cele mai multe ori se instalează în galeriile de control ale barajului.

În momentul citirii temperaturii, se pune în circuit comutatorul P la 0 și cu rezistența R se manevrează și se ajustează deviația maximă a galvanometrului G . Se conectează apoi P la T_1 și se citește direct la galvanometrul G .

În vederea stabilirii temperaturii reale facem următoarele notări:

R_0 = rezistența totală a termometrului la 0°C,

r = variația rezistenței termometrului pentru 1°C,

R_n = rezistența ohmică măsurată fie la decadele telohmetrului sau ca în modul descris mai sus.

După așezarea termometrelor în beton, la intervale de timp diferite se fac măsurători și se determină R_n .

Raportată la 0°C, rezistența totală variază după relația

$$\Delta R = R_n - R_0. \quad (46)$$

Dacă cunoaștem variația rezistenței r , obținem din variația ΔR a întregii rezistențe, variația corespunzătoare de temperatură

$$\Delta t = \frac{\Delta R}{r}. \quad (47)$$

Dacă rezistența inițială R_0 se referă la 0°C, rezultă din rezistența R_n , măsurată la o dată mai târzie, temperatura

$$t^\circ = \frac{R_n - R_0}{r}. \quad (48)$$

Formula (48) ne dă valoarea temperaturii.

Tabloul variației temperaturii în interiorul blocului de beton ne dă posibilitatea de a presupune cum se întărește amestecul de beton dacă lucrările de betonare au decurs în mod normal și care sînt deformațiile datorită temperaturii.

§ 7. FORMULE PRACTICE PENTRU DETERMINAREA TEMPERATURILOR ȘI A TIMPULUI DE ÎNTĂRIRE A BETONULUI

În procesul tehnologic al turnării betonului este important de știut care sînt:

- relația între temperatura la începutul betonării și temperatura maximă obținută după betonarea lamelei superioare;
- dependența între temperatura lamelei de jos, influențată de temperatura lamelei de sus, și adîncimea locului măsurat sub suprafață;
- dependența dintre temperatura la începutul betonării și timpul desfășurării temperaturii betonului din lamelă.

Prof. S. Kratochvil arată că într-un baraj de 33 m înălțime, cu un volum de 21 000 m³ beton, cea mai mare temperatură dezvoltată a fost atinsă în timpul verii numai la 3 zile după ce termometrele au fost îmbetonate, în timp ce toamna, aceeași temperatură s-a atins după 5–6 zile de la îmbetonarea termometrelor.

În urma studiilor și măsurătorilor executate la acest baraj, s-a arătat că raportul dintre temperatura de la începutul betonării t și temperatura maximă atinsă t_{\max} se poate exprima prin egalitatea

$$t_{\max} = 13,8 t^{0,4} \quad (49)$$

Dr. Mejzlík și ing. Čermák cu ajutorul metodei celor mai

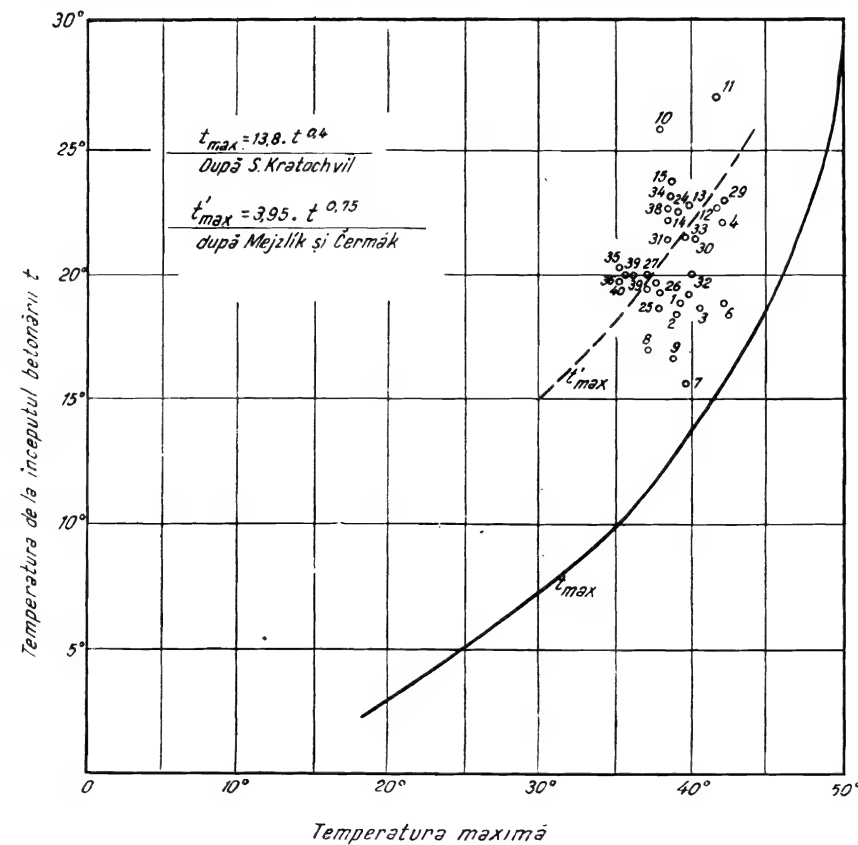


Fig. 80. — Raportul între temperatura de la începutul betonării și valoarea temperaturii maxime măsurate.

mici pătrate au obținut ca valabilă pentru un alt baraj din beton relația

$$t_{\max} = 3,95 t^{0,75} \quad (50)$$

Diferența față de valoarea primei curbe se explică prin faptul că

a) la acest baraj atât volumul cât și amestecul este diferit de cel studiat anterior;

b) rezultatele obținute la acest baraj se întind pe o perioadă mult mai scurtă;

c) formele de lucru — rozetă sau stea — au fost amplasate în apropierea suprafeței lamelei, lucru ce a dus la scăderea temperaturii.

În diagrama din figura 80 se dă spre comparație cele două curbe obținute reprezentând raportul între temperatura de la începutul betonării și valoarea temperaturii maxime măsurate.

Prof. S. Kratochvil arată că cedarea căldurii către lamela

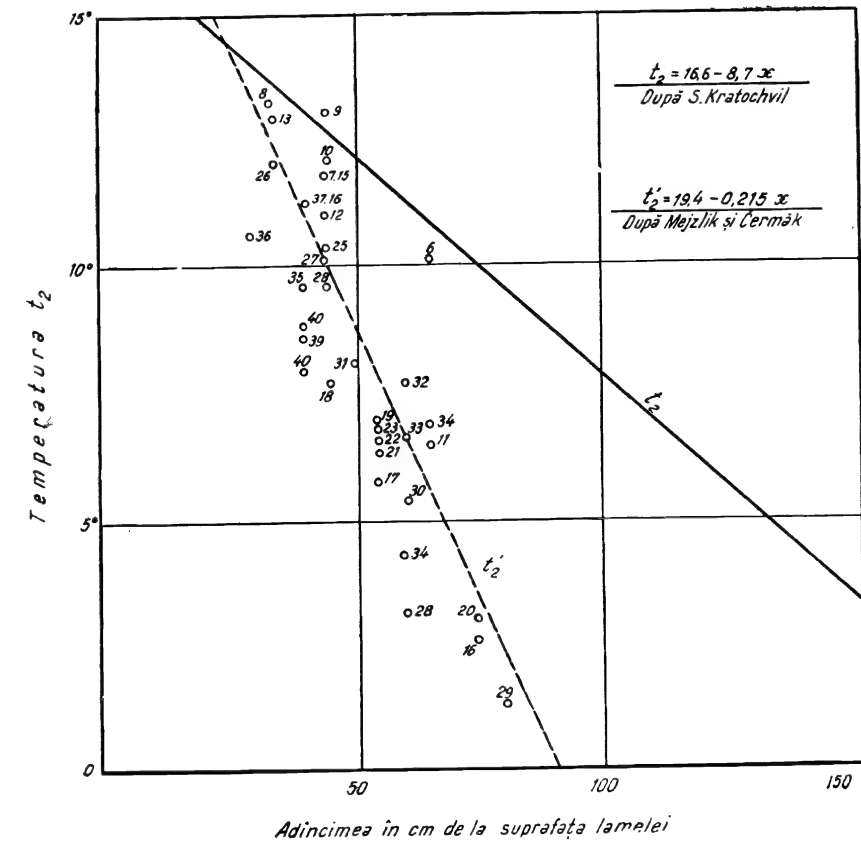


Fig. 81. — Creșterea temperaturii în lamela de jos pricinuită de betonarea lamelei superioare în raport cu adâncimea de la suprafața lamelei de jos.

inferioară este mai accentuată în timpul verii decât iarna și depinde de adâncimea stratului de beton peste care se betonează.

Dependența între încălzirea lamelei inferioare t_2 , datorită procesului de hidratare a lamelei superioare, și adâncimea locului măsurat sub suprafața lamelei x se exprimă printr-o linie dreaptă,

$$t_2 = 16,6 - 8,7x \quad (51)$$

Pe baza presupunerii acestei dependențe exprimată printr-o linie dreaptă, s-a obținut în urma măsurătorilor și studiilor făcute de

Dr. Mejzlík și ing. Čermák la barajul de beton egalitatea

$$t_2 = 19,4 - 0,215 x, \quad (52)$$

în care s-a notat ca mai sus cu t_2 temperatura lamei inferioare și cu x adâncimea locului cercetat sub suprafața rostului de contact dintre cele două lamele.

În figura 81 este dată creșterea temperaturii în lamela inferioară, pricinuită de betonarea lamei superioare, în raport cu adâncimea de la suprafața lamei de jos, după profesor S. Kratochvíl și după Dr. Mejzlík și inginer Čermák.

Dependența dintre temperatura la începutul betonării și timpul de întărire a betonului din lamelă a fost fixată de prof. S. Kratochvíl prin egalitatea

$$d = 228 - 7,7 t_1, \quad (53)$$

în care d este timpul în ore și t_1 temperatura în $^{\circ}\text{C}$.

În figura 82 se dă variația drepte d după prof. S. Kratochvíl.

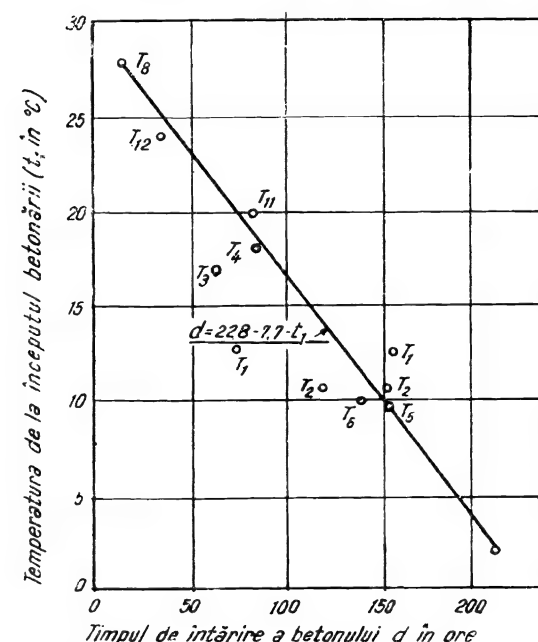


Fig. 82. — Dependenta dintre temperatura la începutul betonării și timpul de întărire a betonului.

peraturii în interiorul masivului de beton, trebuie întreprinse măsurători de temperatură a aerului și a apei din bazinul de acumulare la diferite adâncimi.

Rezultatele obținute se prelucrează în diagrama din figura 83, pentru a avea o imagine clară a variației temperaturii în secțiune transversală precum și în întreg blocul barajului.

Dacă se prelucrează datele și se trasează izotermele (fig. 84) și totodată dacă se indică data calendaristică la care se referă, se poate stabili gradientul temperaturii.

În figura 85 se dau curbele de variație ale temperaturii și ale deformațiilor betonului dintr-un baraj din care se vede că deformațiile verticale depășesc cu mult pe cele orizontale.

Din grafic rezultă variația temperaturii maxime în perioada degajării de căldură datorită prizei și întăririi betonului.

§ 8. VALORIFICAREA REZULTATELOR

Concomitent cu măsurările pentru determinarea tem-

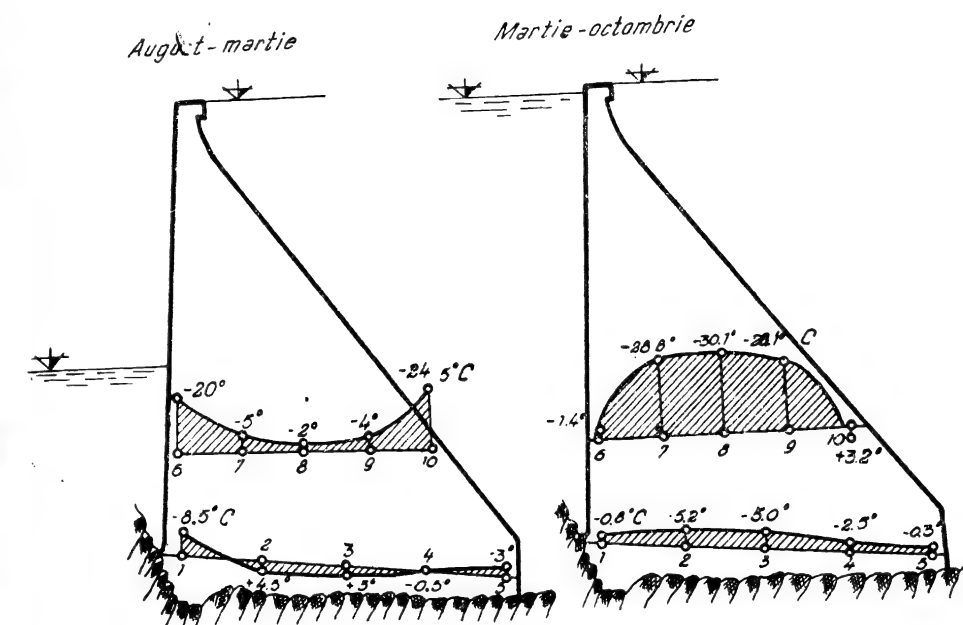


Fig. 83. — Distribuția termometrelor și diagrama variației temperaturilor în blocul unui baraj.

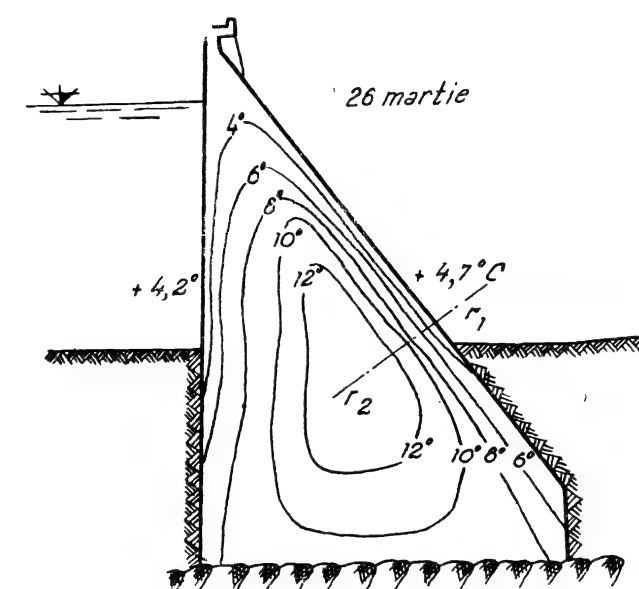


Fig. 84. — Distribuția izotermelor în blocul unui baraj.

La șase luni după betonare, temperatura prezintă variații mai mari, pentru ca, după alte șase luni, temperatura să varieze între $10 \div 13^\circ\text{C}$.

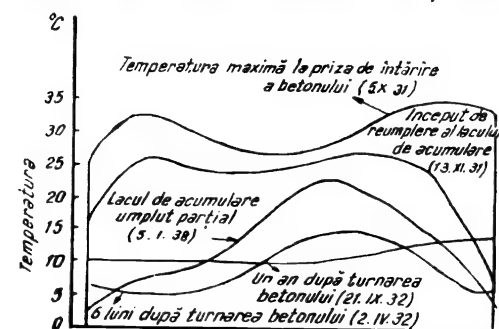


Fig. 85. — Curbele de variație ale temperaturii și a deformațiilor betonului dintr-un baraj.

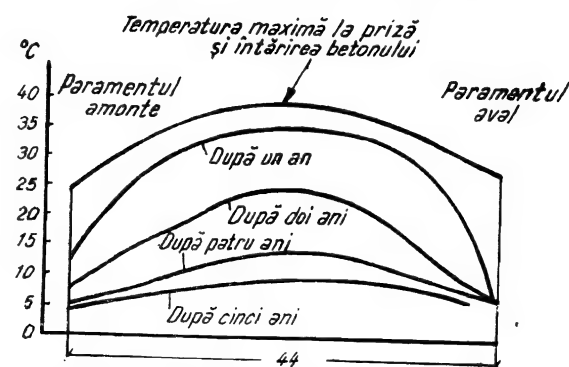


Fig. 86. — Variațiile în timp ale temperaturilor.

Totodată din figură rezultă și modul de distribuție a termometrelor în acest baraj în zona de fundație.

În figura 86 se dau variațiile în timp ale temperaturilor, de unde rezultă clar că procesul de scădere a temperaturii este foarte îndelungat și atinge cîteva ani, după care timp partea interioară a barajului se stabilește la temperatura medie anuală a localității respective, iar zonele din apropierea paramenților sînt supuse variațiilor exterioare de temperatură.

Din grafice se observă că în locuri mai îndepărtate de paramenți, adică în interiorul betonului, influența temperaturii ridicate din timpul verii și a celei scăzute din timpul iernii se manifestă cu mari întârzieri sau nu se manifestă de loc vizibil.

La un baraj din Republica Cehoslovacă variația temperaturilor a fost înregistrată cu ajutorul teleformetrelor.

S-a observat că în timpul lucrărilor de betonare ale lamei superioare aceleia în care au fost instalate rozetele sau stelele temperatura a crescut la toate aparatele.

Maximum de temperatură atins a fost înregistrat de rozeta 1, de $40,2^\circ\text{C}$.

Celelalte valori maxime ale temperaturilor înregistrate de rozete sau stele rezultă din tabela 1.

După atingerea temperaturii maxime, temperatura începe să scadă, pentru ca — în decursul a cîtorva luni — diferența de temperatură în jurul teleformetrelor să fie de numai cîteva grade.

Tabela 1

Răcirea betonului în locul de instalare al rozetelor

Numărul rozetelor	Temperatura maximă $^\circ\text{C}$	Temperatura înregistrată în interiorul lamei										
		Diferențe față de temperatura maximă										
		5 zile	7 zile	9 zile	2 săptămîni	3 săptămîni	1 lună	1 $\frac{1}{2}$ lună	2 luni	2 $\frac{1}{2}$ luni	3 luni	3 $\frac{1}{2}$ luni
1	40,2	37,4 2,8	35,1 5,1	30,6 9,6	28,0 12,2	28,2 12,0	27,5 12,7	21,8 18,4	15,7 24,5	12,1 28,1	9,2 31,0	10,1 30,1
2	39,2	34,7 4,5	29,4* 9,8*	39,0 0,2	41,8 -2,6	38,9 0,3	38,2 1,0	34,9 4,3	29,8 9,4	26,6 12,6	23,3 15,9	20,4 18,8
3	40,0	31,3 8,7	25,7* 14,3*	34,6 5,4	35,5 4,5	32,4 7,6	31,7 8,3	29,1 10,9	25,8 14,2	23,4 16,6	21,2 18,8	18,8 21,2
4	40,1	35,4 4,7	31,9 8,2	26,8* 13,3*	31,4 8,7	30,8 9,3	30,4 9,7	28,3 11,8	25,8 14,3	23,8 16,3	—	—
5	37,8	29,4 8,4	26,9 10,9	25,9* 11,9*	33,9 3,9	33,3 4,5	32,3 5,5	30,1 7,7	27,6 10,2	26,3 11,5	—	—
6	40,1	29,0 11,1	25,7* 14,4*	30,3 9,8	29,1 11,0	28,9 11,2	29,0 11,1	29,5 10,6	28,6 11,5	27,7 12,4	—	—
7	36,4	29,1 7,3	23,2* 13,2*	26,6 9,8	31,3 5,1	27,0 9,4	24,5 11,9	20,7 15,7	16,2 20,2	—	—	—

*) Temperaturile minime înregistrate înainte de betonarea lamei următoare.

Variația temperaturii funcție de timp în faza de răcire a blocului reiese din tabela 1 și din diagrama din figura 87, care s-a desenat conform acestei tabele.

Temperaturile au fost înregistrate o dată cu începutul betonării lamei respective, iar timpul corespunzător a fost trecut în diagramă.

Din tabelă se poate urmări influența căldurii degajată de lamela superioară sau vecină asupra lamei de jos.

Acest lucru ne permite să tragem concluzii asupra pauzei optime de betonare între două lamele.

Dacă răcirea are o valoare mică sau scade puțin, adică temperatura nu crește, acest lucru ne arată că diferența de timp între betonarea lamelilor a fost aleasă corect.

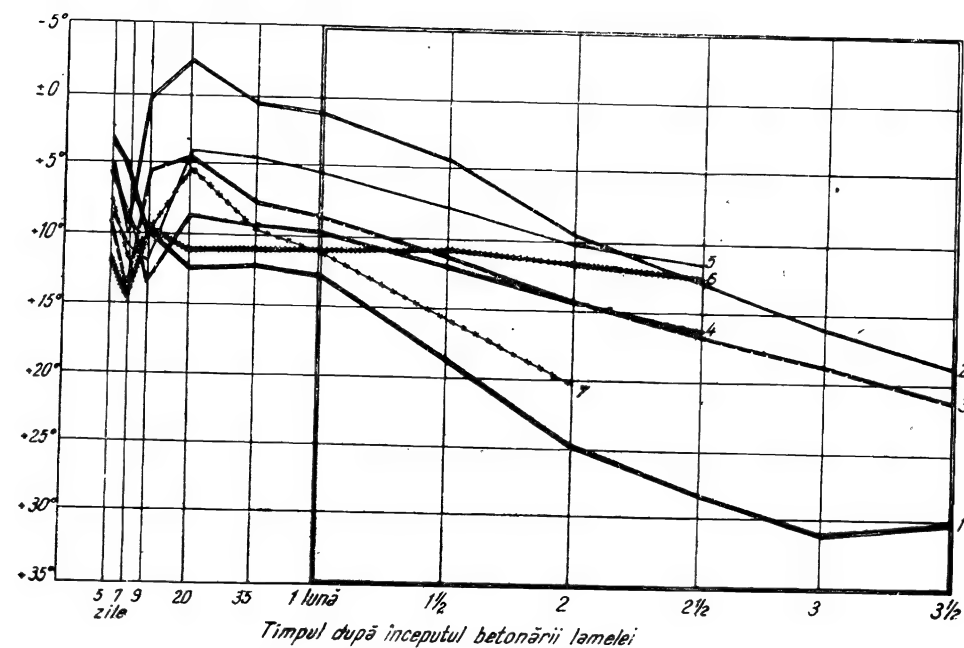


Fig. 87. — Răcirea exprimată în °C din temperatura maximă măsurată.

În diagrama din figura 88 se arată în mod schematic variația temperaturii într-o secțiune a blocului de beton trecând prin planul de instalare a rozetelor.

Diagrama a fost întocmită conform măsurărilor făcute timp de două săptămâni de la terminarea betonării.

Totodată se indică și locul ocupat de rozete în interiorul betonului.

Rozeta nr. 7 indică o temperatură foarte scăzută, în timp ce celelalte rozete indică o răcire mai proporțională.

Influența temperaturii din lamela superioară asupra temperaturii din lamela inferioară se manifestă prin schimbarea temperaturii în straturile cele mai apropiate de rostul de contact. Betonul lamelei de jos, este de obicei mai cald decât betonul proaspăt și, de aceea, la început observăm o scădere mai mare a temperaturii în lamela de jos, datorită pierderii de căldură spre stratul de sus.

Din momentul începerii procesului de priză și întărire a betonului proaspăt, lamela de jos se încălzește prin căldura de hidratare a stratului superior.

În afară de aceasta, căldura proprie a lamei inferioare, care nu se poate degaja datorită lamei superioare, contribuie de asemenea la încălzirea acesteia.

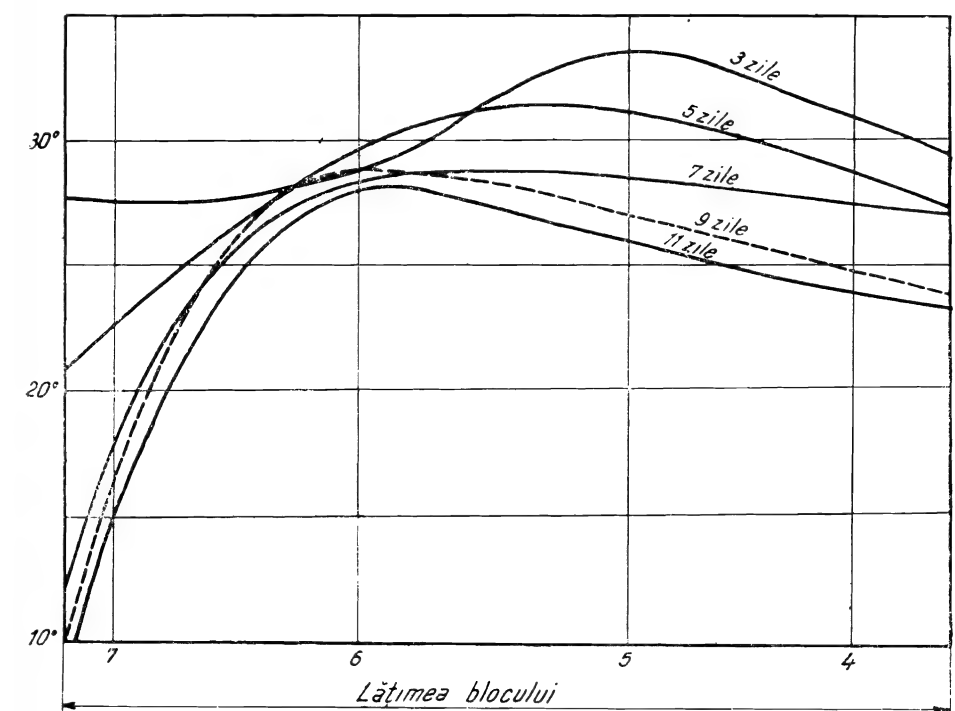
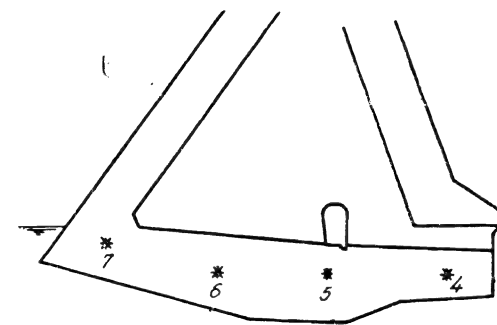


Fig. 88. — Alura schematică a temperaturii în baraj în secțiune orizontală prin bloc. Intervale două săptămâni.

În felul acesta se anulează scăderea temperaturii în lamela inferioară.

Acest lucru rezultă și din diagrama reprezentată în figura 87, din care se vede că temperatura — imediat după betonarea lamei superioare — urcă spre al doilea maxim.

Mărimea acestei temperaturi depinde de:

- a) adâncimea locului măsurat;
- b) temperatura lamei în momentul betonării straturilor superioare;
- c) pauza de betonare între cele două lamele.

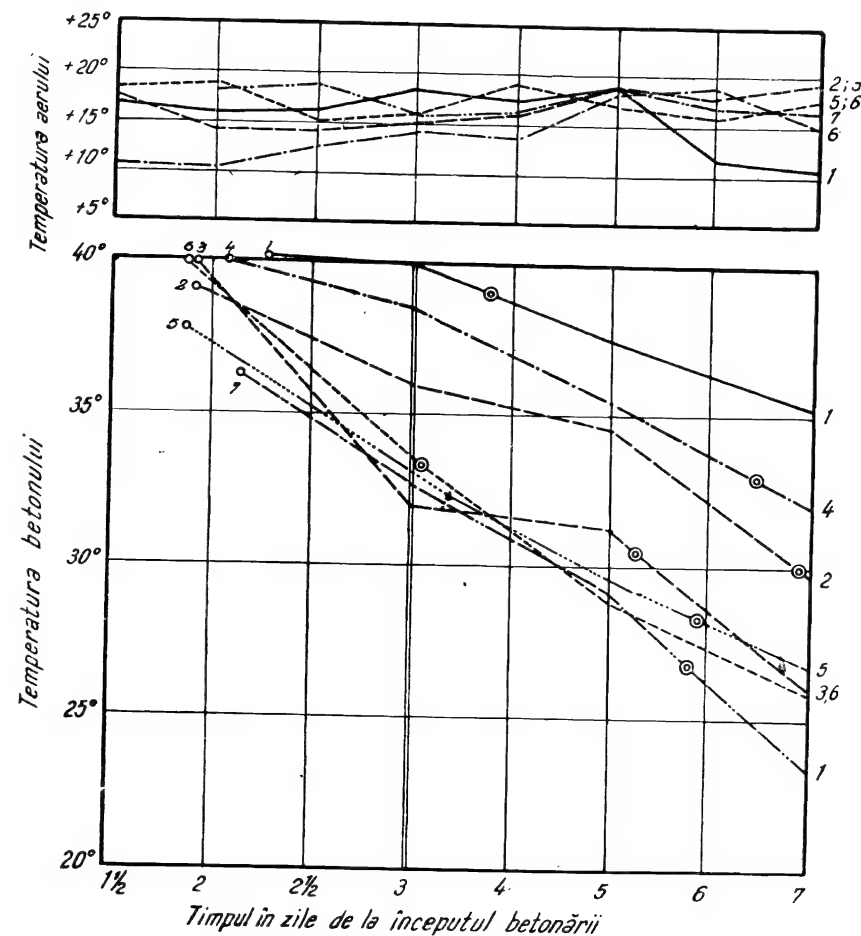


Fig. 89. — Alura schematică a răcirii betonului după ce s-a atins primul maxim al temperaturii (valorile după două zile).

De obicei al doilea maxim se situează sub primul. La barajul studiat, al doilea maxim a fost cu $2 \div 8^\circ\text{C}$ mai mic decât primul maxim. În diagrama din figura 89 se dă alura schematică a răcirii betonului după ce s-a atins primul maxim al temperaturii.

Măsurătorile sînt făcute în șapte puncte.

Temperatura medie a aerului a fost cuprinsă între 15 și 20°C .

Dacă se cere, de exemplu, ca valoarea celui de-al doilea maxim să nu treacă peste valoarea primului maxim, atunci din diagrama din figura 81 se determină pentru locul ales (adâncimea sub suprafața lamei) valoarea t_2 a încălzirii datorită betonării lamei superioare. Valoarea aflată se scade din valoarea primului maxim. Cu ajutorul valorii obținute se determină din diagrama din figura 82 timpul după care putem, pe baza condiției cerute, începe betonarea lamei superioare.

La barajul studiat s-au calculat pauzele de betonare în șapte puncte.

Aceste pauze au oscilat între 4 și 5 zile după terminarea lamei superioare de betonat. În diagrama din figura 89 valoarea optimă a pauzelor în zile este desenată în dublu cerc.

Factorul hotărîtor pentru stabilirea pauzei de betonare rămîne totuși alura eforturilor interioare.

§ 9. SCHIMBĂRILE TEMPERATURII ÎN MASIVUL DE BETON ÎN FUNCȚIE DE TEMPERATURA AERULUI

Influența temperaturii atmosferice asupra temperaturii betonului poate fi urmărită în primele zile după turnarea lamei și înainte de be-

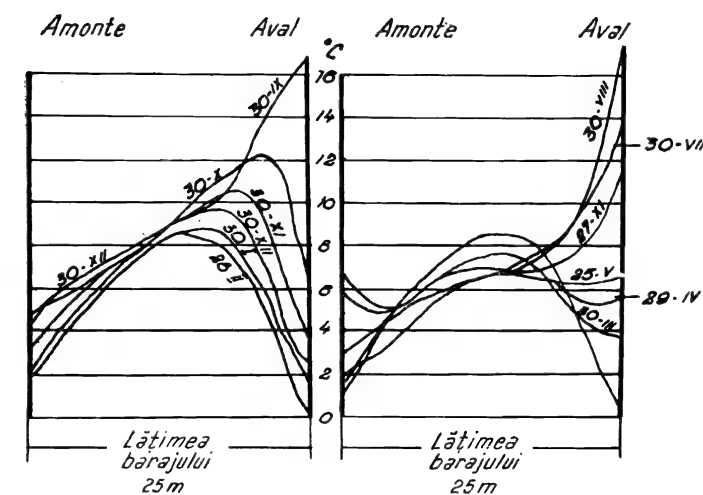


Fig. 90. — Variațiile sezoniere ale temperaturii din corpul barajului.

tonarea următoarelor strate (aceasta cînd este vorba de influența pe timp scurt). În cazul blocurilor de beton, zonele din apropierea paramentelor, pînă la 5—6 m de la suprafață, sînt supuse variațiilor sezoniere ale temperaturii, care depind de variațiile temperaturii aerului și ale apei care înconjură barajul (fig. 90).

B. MĂSURĂTORI DE DEFORMAȚII ȘI CALCULUL EFORTURILOR DIN INTERIORUL MASIVELOR DE BETON

§ 10. GENERALITĂȚI

Condițiile complicate în care sîntem nevoiți a executa uneori fundațiile construcțiilor masive, precum și marile mase de beton ce sînt supuse diferitelor influențe fizico-chimice, impun studierea deformațiilor ce apar în interiorul lor.

În acest scop, se îmbetonează în interiorul masivelor de beton, telemetre ca teleformetre, tensometre electroacustice, dinamometre etc., care rămîn instalate în beton și sînt supuse variațiilor de temperatură, de dilatație, de contracție, de umflare etc.

De obicei deformațiile în interiorul betonului se cercetează cu ajutorul aparatelor electrice portative, care se leagă de instrumentele de precizie fixate în beton prin intermediul conductelor de cablu.

Unele din aceste aparate (teleformetrele) ne dau posibilitatea de a obține în același timp, pe lângă deformațiile betonului și temperatura.

Deformațiile măsurate în interiorul construcțiilor constituie baza pentru calcularea eforturilor interioare din beton în locul respectiv și în același timp, ne dă posibilitatea de a stabili mărimea dilatației, respectiv contracției betonului, datorită eforturilor interioare și temperaturii.

În general se urmărește de mult timp și se dă o atenție deosebită măsurării deformațiilor din interiorul masivelor de beton. Astfel, în diferite țări au fost fabricate aparatele necesare acestor măsurători bazate pe diferite principii ca de exemplu: telemetre*) electrice (termometrul inductiv, rezistiv, capacitiv etc.), tensometre pneumatice, fotoelastice și, în sfîrșit, tensometrul electroacustic cu coardă. În ultimul timp aceste aparate s-au dezvoltat foarte mult, lucru explicabil, atît prin faptul că telemetrele prezintă posibilitatea de telemăsurare, cit și prin faptul că se poate face centralizarea lor la un tablou unic. De asemenea, telemetrele mai prezintă avantajul că au o inerție mică și consumă o cantitate de energie neglijabilă din fenomenul ce se măsoară. Sensibilitatea și exactitatea telemetrelor este în afară de orice îndoială, cu toate că construcția lor poate fi perfecționată, mai ales în ceea ce privește durată funcționării.

§ 11. PRINCIPIILE GENERALE CARE AU STAT LA BAZA CONSTRUIRII TELEMETRELOR

În ceea ce privește folosirea practică a telemetrelor pentru măsurarea deformațiilor în construcțiile de beton, stau pe primul plan telemetrele care utilizează coarda vibrantă ca emițător (tensometrele electroacustice) și telemetrele rezistive care au la bază variația rezistenței unor pastile de cărbune sau a unui fir de oțel întins (teleformetrele).

*) Prin telemetre se înțeleg aparatele care transformă mărimile mecanice sau acustice în mărimi electrice și permit măsurarea la distanțe.

În afară de aceste telemetre, măsurarea tensiunilor și a temperaturii în construcțiile de beton se poate face și cu ajutorul curenților de înaltă frecvență S. R i n i (Franța).

Deci, principiile generale care au stat la baza construirii acestor aparate se pot rezuma astfel:

- a) variația frecvenței unei coarde vibrante supusă la tensiuni variabile;
- b) variația rezistenței electrice a unor pastile de cărbune sub efectul unei presiuni variabile;
- c) variația rezistenței unui fir de oțel supus la presiuni variabile;
- d) măsurarea tensiunilor și a temperaturii în construcțiile de beton, cu ajutorul curenților de înaltă frecvență.

În cele ce urmează se vor trata următoarele tipuri de aparate:

- tensometre electroacustice;
- telemetre cu pastile de cărbune;
- teleformetre Huggenberger.

1. Tensometre electroacustice

În ultimul timp se folosește în Europa, coarda vibrantă, al cărui principiu este utilizat în tensometrele electroacustice ale lui Coyne (Franța) îmbetionate în barajele de la Bromme și de la Marèges.

Independent s-au dezvoltat aceste aparate și în alte țări. Astfel în U.R.S.S. au apărut tensometrele prof. N.N. Davidienkov, aplicate cu bune rezultate la centrala hidroelectrică V. I. Lenin de pe Nipru (Dnieproghes), în Germania, al lui Maihak din Hamburg, după patentul Dr. O. Schaefer, în Italia, al lui Galileu și în Republica Cehoslovacă tensometrele electroacustice proiectate în Institutul lui Klokner și fabricate de Metra-Frič. La noi Academia R.P.R. prin Institutul de fizică, în colaborare cu Institutul de studii și proiectări energetice a scos primul prototip al acestui aparat.

Aparatul indicator. Tensometrele electroacustice se bazează pe variația frecvenței proprii de vibrație a unei coarde atunci cînd variază starea de întindere a acesteia.

Măsurarea frecvențelor se poate face prin următoarele metode:

- a) măsurarea frecvenței undelor produse de un oscilator care întreține vibrațiile coardei;
- b) măsurarea frecvenței la care se produce fenomenul de rezonanță atunci cînd coarda este excitată de un electromagnet a cărui frecvență poate fi variată;
- c) măsurarea frecvenței oscilațiilor libere produse atunci cînd coarda primește un impuls.

Înregistrările se fac cu ajutorul unui aparat indicator (frecventmetru) în stația centrală de măsurători a lucrării masive respective.

Aparatul se construiește pentru a putea fi conectat la mai multe puncte de măsurare.

În funcție de metoda de măsurare adoptată, există aparate care au în interiorul lor o coardă etalon, a cărei tensiune mecanică, deci frecvență proprie, poate fi acordată cu ajutorul unui buton rotativ la frecvența coardei de măsurare respectivă (fig. XII).

Schimbările de volum ale betonului. — ceea ce este același lucru cu forțele care acționează asupra obiectului examinat — lucrând în sensul axei tensometrului, provoacă variația distanței între capetele aparatului și, ca urmare, se produce schimbarea frecvenței la vibrațiile coardei, vibrații ce sînt transmise aparatului indicator. Coarda etalon din aparat se poate regla la frecvența coardei tensometrului. Cînd acordul frecvențelor este realizat, se aude în receptor un sunet clar și continuu. Alte aparate folosesc tubul catodic pentru determinarea exactă a momentului cînd se ajunge la egalitate de frecvențe. Oscilațiile mecanice proprii ale coardelor de măsurare și ale coardelor etalon se transformă în oscilații electrice, care sînt transmise spre tubul catodic. Egalitatea de frecvențe este obținută atunci cînd oscilațiile vizibile pe ecranul tubului catodic se îmbină și formează o figură circulară sau eliptică. Citirea se face pe un cadran prevăzut în acest scop, iar rezultatul este produsul dintre numărul de diviziuni citit și constanta de etalonare a aparatului.

Deformația betonului se determină pe baza frecvenței coardei metalice tensionate. Aceste deformații se referă la lungimea interceptată între cele două capete ale coardei (50—300 mm) și care constituie lungimea de măsurare a aparatului.

Numărul de oscilații N , reprezentînd frecvența vibrațiilor proprii ale coardei, este legat de rezistențele coardei tensionate prin relația

$$N = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{\sigma}{\rho}}, \text{ unde } \rho = \frac{\gamma}{g} \quad (54)$$

și în care

- N = frecvența vibrațiilor (în Hz);
- l = lungimea de măsurare a aparatului (în cm);
- σ = rezistența coardei tensionate (în kg/cm²);
- γ = densitatea specifică a materialului coardei (în kg/cm³);
- g = accelerația gravitației (în cm/s²);
- ρ = masa specifică (în kg.s²/cm⁴).

Din ecuația (54) obținem expresia

$$\sigma = 4l^2 \rho N^2, \quad (55)$$

din care se vede că pătratul frecvenței vibrațiilor coardei de măsurare variază proporțional cu tensiunea din beton sau armătură, respectiv cu forțele care acționează asupra materialului cercetat.

La variația tensiunii în coardă, sau ceea ce este același lucru cu trecerea rezistenței de la σ_1 la σ_2 , se va schimba și frecvența vibrațiilor de la N_1 la N_2 , după relația

$$\Delta\sigma = \sigma_2 - \sigma_1 = 4l^2 \rho (N_2^2 - N_1^2). \quad (56)$$

Deformațiile coardei la o variație a tensiunilor de $\Delta\sigma$ trebuie să fie egale după legea lui Hooke cu

$$\Delta l = \frac{\Delta\sigma}{E_c} l, \quad (57)$$

în care prin E_c am notat modulul de elasticitate al coardei.

Introducînd în ecuația (57) valoarea lui $\Delta\sigma$ din ecuația (56), obținem că variația lungimii coardei este

$$\Delta l = 4l^3 \frac{\rho}{E_c} (N_2^2 - N_1^2). \quad (58)$$

Deoarece capetele coardei sînt fixate în beton, variația lungimii coardei Δl va fi egală cu deformația liniară a betonului, provocată de aceste eforturi.

În acest caz, pe baza valorilor Δl se pot deduce atît variația rezistențelor betonului $\Delta\sigma_b$, cît și variația rezistențelor armăturii din beton $\Delta\sigma_a$, al căror modul de elasticitate se notează cu E_b , respectiv cu E_a .

Aplicînd ecuația (57) deformației coardei, betonului și armăturii, avem

$$\frac{\Delta l}{l} = \frac{\Delta\sigma_c}{E_c} = \frac{\Delta\sigma_b}{E_b} = \frac{\Delta\sigma_a}{E_a},$$

de unde rezultă

$$\left. \begin{aligned} \Delta\sigma_b &= \frac{E_b}{l} \Delta l, \\ \Delta\sigma_a &= \frac{E_a}{l} \Delta l. \end{aligned} \right\} \quad (59)$$

Dacă rezistența inițială din beton este nulă și cea din armătură de asemenea, atunci $\Delta\sigma$ poate fi înlocuit prin σ .

În cazul acesta înlocuind pe (58) în ecuațiile (59) obținem

$$\left. \begin{aligned} \sigma_b &= \frac{E_b}{E_c} \sigma_c = \frac{E_b}{E_c} 4l^2 \rho (N_2^2 - N_1^2), \\ \sigma_a &= \frac{E_a}{E_c} \sigma_c = \frac{E_a}{E_c} 4l^2 \rho (N_2^2 - N_1^2). \end{aligned} \right\} \quad (60)$$

În felul acesta, pe baza frecvenței vibrațiilor inițiale ale coardei N_1 și după aplicarea sarcinilor de construcție N_2 , se poate verifica rezistența în beton σ_b și în armătură σ_a .

Calitatea telemetrelor este dată de sensibilitatea pe care o prezintă aparatele în procesul de lucru. Sensibilitatea este de două feluri:

- a) absolută și
- b) relativă.

Prin sensibilitate absolută S_a se înțelege raportul dintre variația mărimii măsurate, în cazul nostru variația frecvențelor ΔN , și variația mărimii mecanice Δl adică

$$S_a = \frac{\Delta N}{\Delta l} \quad (61)$$

În practică se folosește mai mult sensibilitatea relativă S_r , care se exprimă prin raportul

$$S_r = \frac{\frac{\Delta N}{N}}{\frac{\Delta l}{l}} \quad (62)$$

Calculînd sensibilitatea relativă în cazul tensometrului electroacustic, obținem ecuația

$$S_r = \frac{1}{2} \frac{E}{\sigma} \quad (63)$$

ceea ce arată că sensibilitatea relativă este independentă de lungimea corzii și crește cu cît tensiunea inițială a acesteia este mai mică.

Tensometrele electroacustice servesc la măsurarea rezistențelor în beton sau în armătură. Pentru acest lucru ele se montează în rozetă sau stea și se instalează în diferite puncte ale construcției. Direcția axelor aparatelor în formele de lucru poate să facă unghiuri de 30, 45, 60 și 90°.

În practică, cele mai folosite unghiuri sînt cele de 45 și 90° (fig. XIII). În cazul cînd tensometrul se îmbetonează de unul singur, el vine amplasat ca în figura 91.

Distanța între locul de amplasare al aparatelor în beton și stația centrală de măsurători trebuie să fie mai mică de 500 m.

Montajul se execută în timpul betonării.

Ca material pentru circuite se alege: pentru măsurători de scurtă durată, sîrmă pentru curent slab de orice fel de execuție, iar pentru măsurători de lungă durată conducte de cablu.

O clasificare a tensometrelor electroacustice se poate face din diferite puncte de vedere:

1) În funcție de caracteristicile pe care le prezintă:

- a) după amplificare;
 - b) după lungimea de măsurare;
 - c) după greutatea aparatelor;
 - d) după metodele de fixare în beton.
- 2) După locul unde au fost construite.

În studiul de față se va ține seama de clasificarea după locul unde au fost construite.

a. Tensometre tip N. N. Davidienkov (U.R.S.S.)

Tensometrul electroacustic tip prof. N. N. Davidienkov (fig. 92) constă dintr-o coardă de oțel 3, întinsă între capetele cu ramificație 1 ale aparatului și protejată prin tubul de alamă 2.

Prin intermediul electromagnetului 4, coarda de oțel 3 vibrează. Frecvența vibrațiilor coardei este determinată prin compararea ei, după sunet, cu frecvența cunoscută a generatorului stației centrale.

La scurtarea lungimii de măsurare, tubul de legătură 2 se comprimă, din acest motiv aparatul trebuie să aibă elasticitate în direcție axială.

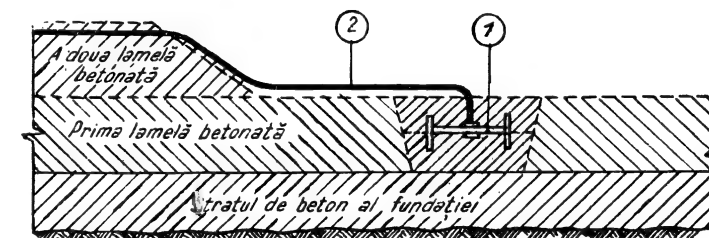


Fig. 91. — Schema de instalare a tensometrului electroacustic în beton.

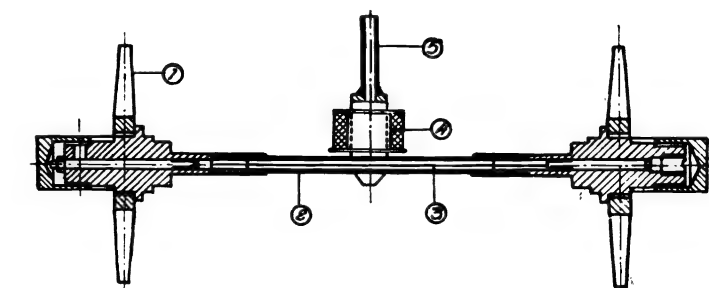


Fig. 92. — Tensometrul electroacustic tip N. N. Davidienkov (U.R.S.S.).

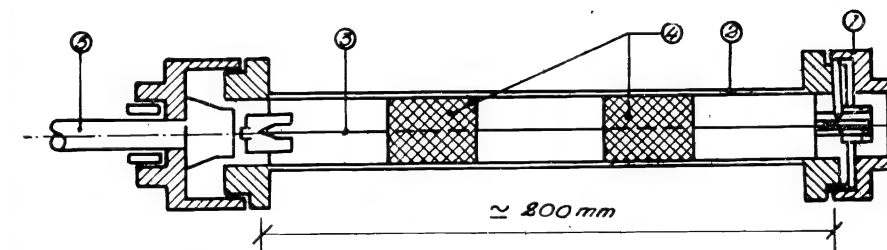


Fig. 93. — Tensometrul electroacustic tip Metra-Frič.

Aparatul trebuie să fie etanș împotriva umidității.

Curentul alternativ de la stația centrală trece la aparat prin conducta de cablu 5.

b. Tensometrul tip Metra-Frič

În Republica Cehoslovacă au luat în ultimul timp o mare dezvoltare tensometrele electroacustice sistem Metra-Frič (fig. 93).

Aparatul se compune dintr-un corp cilindric 2, închis ermetic. Între cele două capete ale cilindrului 1 se întinde o coardă de oțel 3, care trece prin cei doi electromagneți 4 așezați în corpul cilindrului.

Aparatul este prevăzut cu un cablu special și etanș contra umidității.

c. Tensometre tip Coyne (Franța)

Coyne a construit pe principiul coardei vibrante un aparat pentru măsurarea deformațiilor în beton, a cărui lungime de măsurare este de 20 cm (fig. 94).

Coarda de oțel 3, clemele de prindere ale capetelor coardei și cei doi electromagneți 5 sînt montați într-un tub de cupru moale 2, prevăzut cu

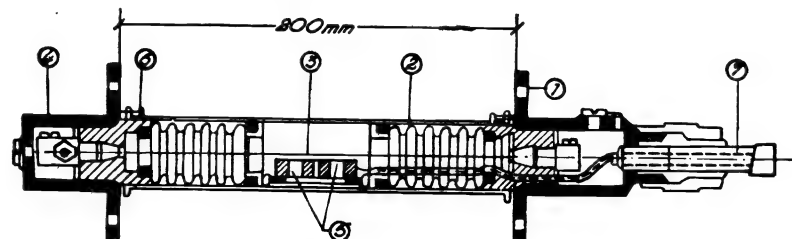


Fig. 94. — Tensometru electroacustic tip Coyne (Franța).

renuri, pentru a avea elasticitate în direcția axială în cazul alungirii sau scurtării coardei.

Aparatul este etanș contra umidității. Șurubul 6 servește pentru reglarea precisă a lungimii de măsurare.

Cele două flanșe 1 ale capetelor tubului 2 sînt prevăzute cu găuri, pentru ca aparatul să poată fi ușor prins de armătura de susținere în formele de lucru din beton.

d. Tensometrul tip Maihak (Germania)

Maihak a construit tensometre cu o lungime de măsurare de 50 mm.

În ceea ce privește forma și părțile componente ale aparatului, corespund cu ale celorlalte tensometre.

Pentru cerințele practice, aparatul se construiește în două tipuri și anume pentru domenii de măsurare de 5×10^{-4} și 15×10^{-4} , cu o sensibilitate de 1×10^{-6} și 3×10^{-6} , corespunzând unei scurtări a distanței de măsurare de 0,025 mm, respectiv 0,075 mm.

e. Tensometrul cu coardă (R.P.R.)

Academia R.P.R., în scopul de a contribui la rezolvarea problemelor legate de planul de electrificare, și-a pus problema confecționării în țară a unui aparat de măsurarea deformațiilor realizându-se astfel prototipul unui tensometru cu coardă.

Părțile componente sînt asemănătoare cu ale celorlalte tensometre.

Aparatul este în curs de experimentare.

În general, la tensometrele electroacustice, diametrul coardei este de 0,3—0,4 mm, cu o lungime cuprinsă între 50 și 300 mm. Frecvența folosită este de 350—1 300 Hz.

Avantajele tensometrelor electroacustice sînt următoarele:

a) Principiul este simplu și exactitatea rezultatelor satisfăcătoare.

b) Deoarece nu se compară mărimi electrice ci frecvențe, rezultatul măsurării este independent de modificarea rezistențelor ohmice ale circuitului de cabluri și de apariția inducției și a capacității.

c) Teoretic, tensometrele electroacustice sînt insensibile la temperatură.

d) Distanța între tensometre și receptoare se poate alege și modifica după dorință.

e) Indicarea se face prin rază electronică, dispozitivul indicator fiind un tub catodic.

f) Sensibilitatea mare de măsurare a aparatului este bazată pe relația pătratică între forțe și efectul lor, asupra elementului de măsurare, adică a coardei oscilante.

g) Măsurarea poate fi executată de un singur om.

Dintre dezavantaje trebuie să notăm:

a) Ținînd seama de granulația pietrișului din beton, lungimea coardei de măsurare sub 100 mm a diferitelor tensometre electroacustice apare ca prea mică.

b) Aparatele nu sînt prevăzute cu un dispozitiv de înregistrare a temperaturii, fapt ce impune îmbetonarea tensometrelor de rezistență electrică lingă fiecare formă de lucru.

c) Clemele care fixează coarda trebuie să asigure ani de zile o întindere inițială, constantă și fixă.

2. Telemetre cu pastile de cărbune

Telemetrele cu pastile de cărbune au fost utilizate pentru prima oară la zidul de încercări de la Stevenson-Creek (S.U.A.), iar în Europa au fost folosite pentru măsurarea deformațiilor la barajele de la Bleiloch și la Schluchsee. Aparatul (fig. 95 a) se compune din două cadre metalice 3 care, prin comprimare, acționează asupra unei coloane 1, formată din pastile de cărbune. Coloana este prevăzută marginal cu deșeuri metalice 4 și cu izolatori 2. Întreg sistemul este protejat prin tubul 5, terminat la capete prin flanșele 6. Legătura cu aparatul receptor se face prin cablul 7.

Cărbunele folosit poate să fie cărbune de retortă sau grafit aglomerat cu o masă de argilă. Coloana are circa 15—20 de pastile, așezate una lingă alta. Diametrul pastilelor este de circa 5—10 mm, iar grosimea de circa 1—2 mm.

Aparatul se îmbetonează în corpul barajului și se leagă prin cabluri la un aparat receptor.

Prin comprimarea coloanei se mărește suprafața de atingere dintre asperitățile de pe suprafețele pastilelor și, prin aceasta, se micșorează rezistența curentului parcursor. La galvanometrul aparatului receptor se poate face apoi citirea.

În cazul destinderii coloanei, rezistența se poate utiliza pentru măsurarea temperaturii. Acest lucru ne permite de a preciza care este

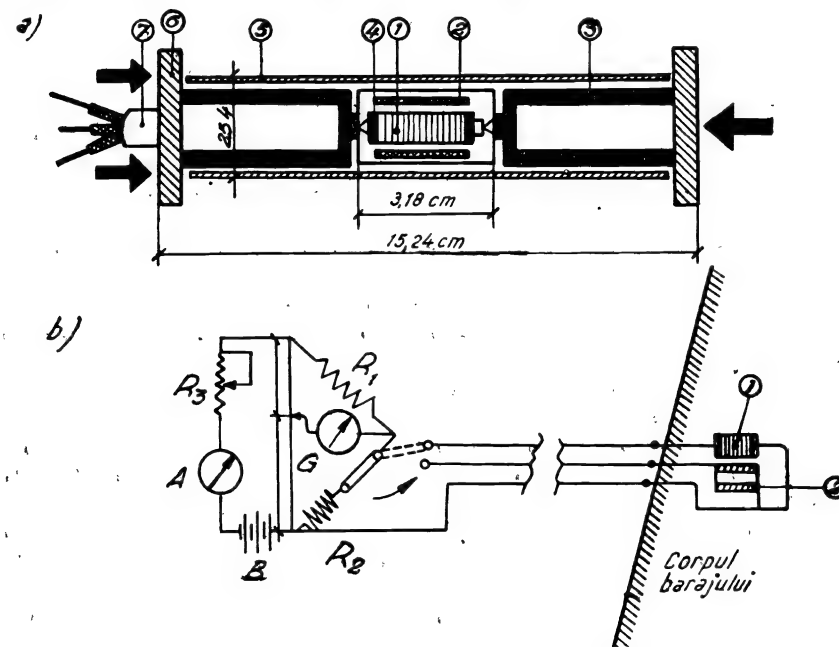


Fig. 95. — Telemetru cu pastile de cărbune.

variația de lungime dată de temperatură și care este cea dată de tensiune. Schema legăturilor dispozitivului rezultă din figura 95 b.

Telemetrele cu pastile de cărbune au următoarele dezavantaje:

Pastilele de cărbune necesare se procură greu.

Orice variație a umidității modifică rezistența electrică a pastilelor de cărbune.

Pastilele de cărbune prezintă deformații plastice sub încărcări de lungă durată.

Erorile pe care le prezintă sînt cuprinse între 3 și 7%.

Datorită acestor dezavantaje semnalate, telemetrele cu pastile de cărbune au fost înlocuite, după 10—15 ani de funcționare, cu telemetrele bazate pe variația rezistenței electrice a unui fir de oțel întins supus unor tensiuni variabile.

Telemetrele înlocuitoare au fost prevăzute cu trei bobine (Carlson), aplicate la barajul Norris, sau cu două bobine (teleformetre Huggenberger).

Teleformetrul cu trei bobine se pune sub o singură tensiune și se montează pe un cadru special, de preferință din invar.

Cînd instrumentul suferă o variație de lungime, firul primei bobine se întinde, al celei de a doua se strînge, în timp ce al celei de a treia bobine rămîne neschimbat.

Formînd raportul variației de rezistență a primei, respectiv celei de a doua bobine, cu a celei de a treia, se poate determina variația de lungime căutată.

Temperatura este dată de rezistența celei de-a treia bobine.

3. Teleformetre Huggenberger

Teleformetrul (fig. 96 și XVII) se compune din două bare metalice 1 și 2, legate prin două benzi de oțel 3 și 4 astfel ca barele să nu se poată

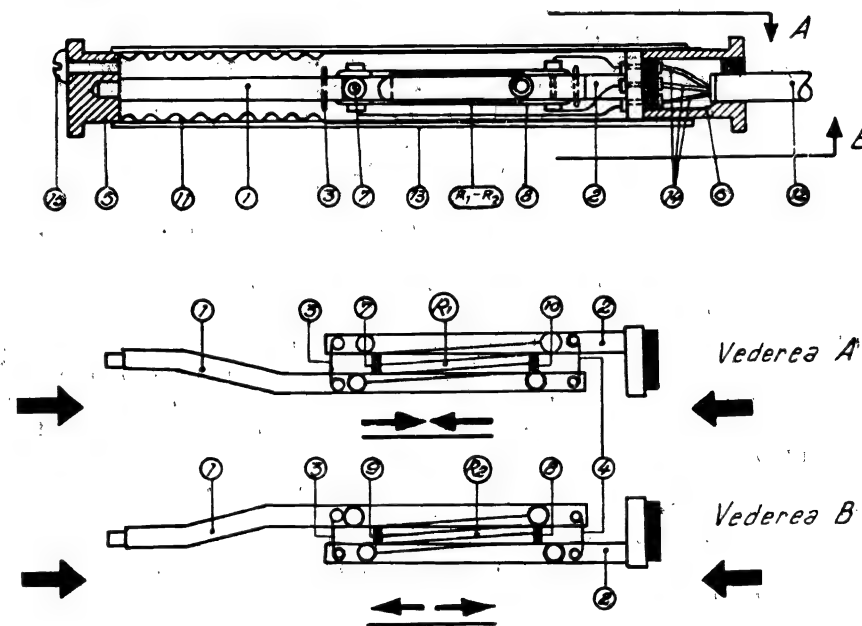


Fig. 96. — Tensometrul tip Carlson-Huggenberger.

deplasa decît în direcția longitudinală. Barele sînt prevăzute la capete cu capotele 5 și 6, terminate prin flanșe.

Două bobine R_1 și R_2 din oțel trec peste suportii electric izolați 7 și 10 respectiv 8 și 9, înșurubați pe cele două bare de metal.

Întregul sistem este protejat prin tubul de alamă 11, sudat la cele două capete, și care este ondulat pe o porțiune pentru a se realiza astfel elasticitate pe direcția axială.

Tubul de alamă este acoperit cu un manșon din rețea 13, care împiedică aderarea betonului de metal.

În capota 6 este prevăzut un spațiu din care pleacă cablul 12 cu conductorii 14. Capota 5 permite, prin orificiul astupat cu șurubul 15, introducerea în aparat a unui ulei special pentru a se evita ruginirea bobinelor de sîrmă.

Caracteristicile aparatului sînt următoarele :

- lungimea 25 cm ;
- domeniul de măsurare :
 - pentru deformații $\pm 0,3$ mm ;
 - pentru temperatură $-20^{\circ}\text{C} \div +65^{\circ}\text{C}$.
- precizia :
 - pentru deformații 3×10^{-6} mm ;
 - pentru temperatură $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$;
- diametrul tubului 30 mm ;
- diametrul flanșei 38 mm ;
- greutatea 730 g.

Teleformetrele sînt aparate bazate pe principiul proporționalității dintre rezistența ohmică și lungimea sau scurtarea unui fir de oțel întins.

Cele două bobine R_1 și R_2 sînt montate astfel încît rezistența unei bobine nu crește decît în măsura în care scade rezistența celeilalte bobine, iar schimbările în raportul rezistențelor celor două bobine este o indicație a schimbării unitare de lungime ce a avut loc de la măsurarea anterioară.

Pe lîngă măsurarea raportului de rezistență a celor două bobine cu ajutorul acestora este posibil, într-un circuit diferit, să se obțină rezistența reală a bobinelor în serie. În acest fel, bobinele acționează ca un regulator al unui termometru cu rezistență. Acest lucru este un avantaj al aparatului, deoarece permite corectarea valorilor citite, datorită faptului că coeficienții termici de dilatare a betonului și ai aparatului sînt diferiți ($\alpha_{\text{bet.}} \neq \alpha_{\text{telef.}}$).

Telohmetrul. Rezistențele și variațiile acestora pentru bobinele aparatelor îmbetonate se înregistrează cu ajutorul telohmetrului sistem Huggenberger, aparat bazat pe principiul punții Wheatstone.

În figurile 97 și XX este dată vederea axonometrică a telohmetrului, precum și a cablului de legătură.

Aparatul este prevăzut cu : un galvanometru G , cu un disc O pentru blocare și un buton rotativ m pentru reglarea indicatorului galvanometru-lui la zero ; cu patru cleme de racord 1, 2, 3 și 4 și o baretă metalică v pentru scurtcircuitare în cazul cînd se folosesc numai trei fire ; cu o rezistență reglabilă R_z ; cu o rezistență fixă R_4 care se stabilește la 100 Ω ; cu patru decade de rezistențe cu un domeniu de măsurare de 10, 1, 0,1 și 0,01 ; cu o baterie de buzunar B de 3 V (două baterii a 1,5 V cu $\varnothing = 30$ mm și $l = 60$ mm) ; cu un comutator selector C care ajută pentru punerea la punct a punții pentru citirea temperaturilor t sau dilatărilor ϵ ; cu un buton I , care permite închiderea curentului și cu o priză P pentru legarea punții la cutia terminală.

În figura 98 este dată schema electrică de conexiune a telohmetrului după Carlson-Huggenberger.

Cu ajutorul telohmetrului se determină raportul rezistențelor $Z = R_1/R_2$, precum și rezistența totală $R_t = R_1 + R_2$.

Metoda măsurării este simplă și nu cere decît un scurt timp de exercițiu.

Înainte de a se începe măsurarea, telohmetrul se așează pe un suport orizontal. Firele cablului se leagă la clemele de racord 1, 2, 3 și 4. Lîngă

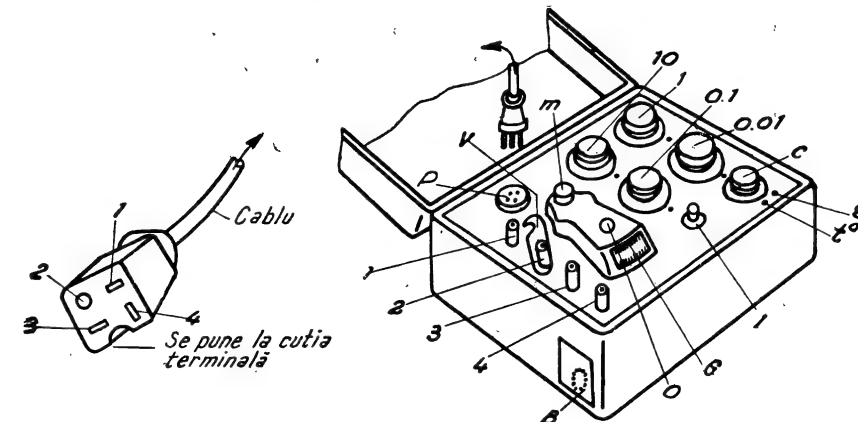


Fig. 97. — Vederea telohmetrului și a cablului de legătură.

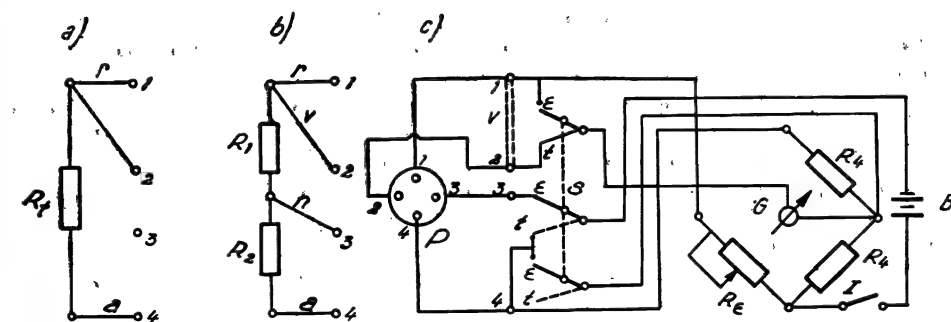


Fig. 98. — Schema electrică a telohmetrului Carlson-Huggenberger :

- a) conectarea punții pentru determinarea temperaturilor t ;
- b) conectarea punții pentru determinarea deformărilor ϵ ;
- c) schema electrică de conexiune.

fiecare clemă este cîte un punct colorat în culoarea conductorului cu care se leagă, astfel lîngă cleva 1 este un punct roșu, lîngă 2 un punct verde, lîngă 3 un punct negru, lîngă 4 un punct alb.

În cazul cînd sînt numai trei conductori, clemele de racord 1 și 2 se scurtcircuitază cu ajutorul baretei metalice v . În stația definitivă de măsurători legătura se face cu ajutorul unui cablu special între priza aparatului și cutia terminală. Cu ajutorul selectorului C se leagă puntea pentru înregistrarea temperaturilor t sau a dilatațiilor ϵ .

Prin apăsarea butonului alb I se închide circuitul de curent și indicatorul galvanometrului se deplasează spre (+) sau spre (-), deplasare care se anulează prin reglarea decadelor de rezistență.

În momentul când acul galvanometrului nu-și mai schimbă poziția prin apăsarea butonului I , se face citirea numărului indicat pe cele patru decade.

Acest număr reprezintă raportul rezistențelor Z dacă selectorul C a fost pus la ε sau rezistența totală R , dacă selectorul a fost pus la t .

Valorile măsurate se trec în acest formular :

Semnul și locul măsurătorilor în construcție

CENTRALIZATOR AL MĂSURĂTORILOR OBTINUTE CU TELEFORMETRELE

Rozeta Nr.

Nr. crt.	Ziua	Ora	Teleformetru Nr.		Teleformetru Nr.		Obs.
			ε	t°	ε	t°	

La măsurătorile cu telohmetrul trebuie să se țină seama de următoarele reguli :

a) Înainte de executarea măsurătorilor, telohmetrul trebuie să fie așezat pe un suport fix și orizontal, deoarece orice schimbare a poziției aparatului influențează indicațiile galvanometrului.

b) Conductorii cablului trebuie să se lege la clemele de culoarea respectivă.

c) Este interzis a se apăsa butonul I atâta timp cât telohmetrul nu este racordat la telemetrele îmbetonate. Apăsarea butonului trebuie să fie de scurtă durată, deoarece o apăsare mai îndelungată menține cablul și aparatul prea mult sub curent, astfel încât există pericolul unei modificări a rezistenței prin încălzirea lor.

d) Prin deplasarea discului O în sens contrar săgeții indicate de disc (spre cadran), indicatorul galvanometrului este eliberat.

e) Prin rotirea butonului m , acul galvanometrului deblocat este adus în poziția de zero (în mijlocul scalei).

f) Înainte de a începe o măsurare, este necesar ca rezistența de reglare, compusă din cele patru decade de 10, 1, 0,1 și 0,01 Ω să se regleze aproximativ la valoarea rezistenței de 0°C a aparatului.

g) Decadele de rezistență 1, 0,1 și 0,01 se răsucesc numai în direcția acelor de ceasornic. Decada 10 se poate răsuca în ambele sensuri, dar numai până la opritor. Deci nu trebuie să se rotească forțat peste opritor.

h) Telohmetrul trebuie să fie păstrat într-o cameră uscată și ferit de zguduiri și lovituri.

i) Telohmetrul se mai utilizează și pentru a se examina dacă toți conductorii unui cablu sînt în perfectă stare.

În tehnica măsurătorilor de deformații, teleformetrele sînt utilizate în următoarele forme de lucru, corespunzătoare cazului bidimensional (plan) și tridimensional (spațiu),

teleformetrele în rozetă;
teleformetrele în stea;
teleformetrul de nul;
teleformetrul în betonat singur.

Rozeta. Pentru măsurarea deformațiilor plane și, ca urmare, pentru calcularea eforturilor interioare corespunzătoare, se obișnuiește măsu-

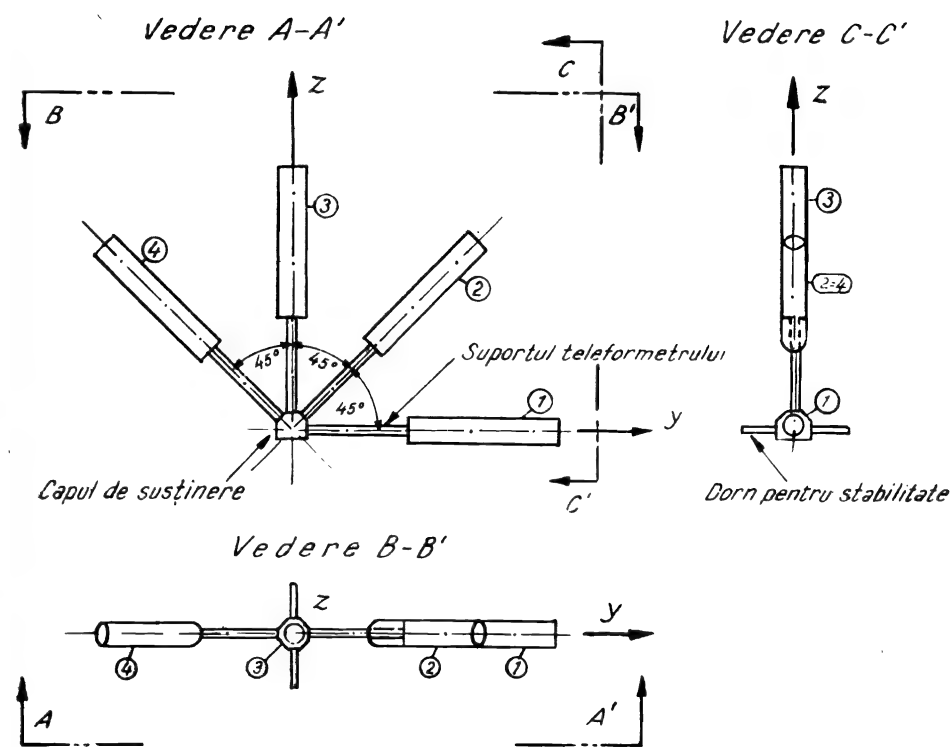


Fig. 99. — Rozeta cu patru teleformetre.

rarea deformațiilor pe trei direcții fixe, direcții ce sînt necesare pentru stabilirea mărimii și a direcției eforturilor principale și tangențiale în plan.

De fapt, sînt suficiente două direcții, folosindu-se cea de a treia direcție pentru a servi de control și pentru cazul cînd unul din aparate se defectează.

Combinația cea mai avantajoasă a aparatelor este : un aparat așezat orizontal, unul așezat vertical și unul sau două aparate înclinate cu 45° față de orizontală.

O astfel de formă de lucru poartă denumirea de rozetă (fig. 99).

Cu ajutorul rozetei determinăm deci starea tensiunilor în plan, adică pe două direcții. Numărul aparatelor poate varia între trei și patru.

În practică se dublează fiecare direcție astfel încât să fie două perechi de aparate formând unghiuri de 45° unul în raport cu celălalt.

Relația cunoscută în teoria elasticității

$$\epsilon_0 + \epsilon_{90} = \epsilon_{45} + \epsilon_{-45} \quad (64)$$

(adică suma deformațiilor pentru fiecare pereche este egală) permite a se face un control util.

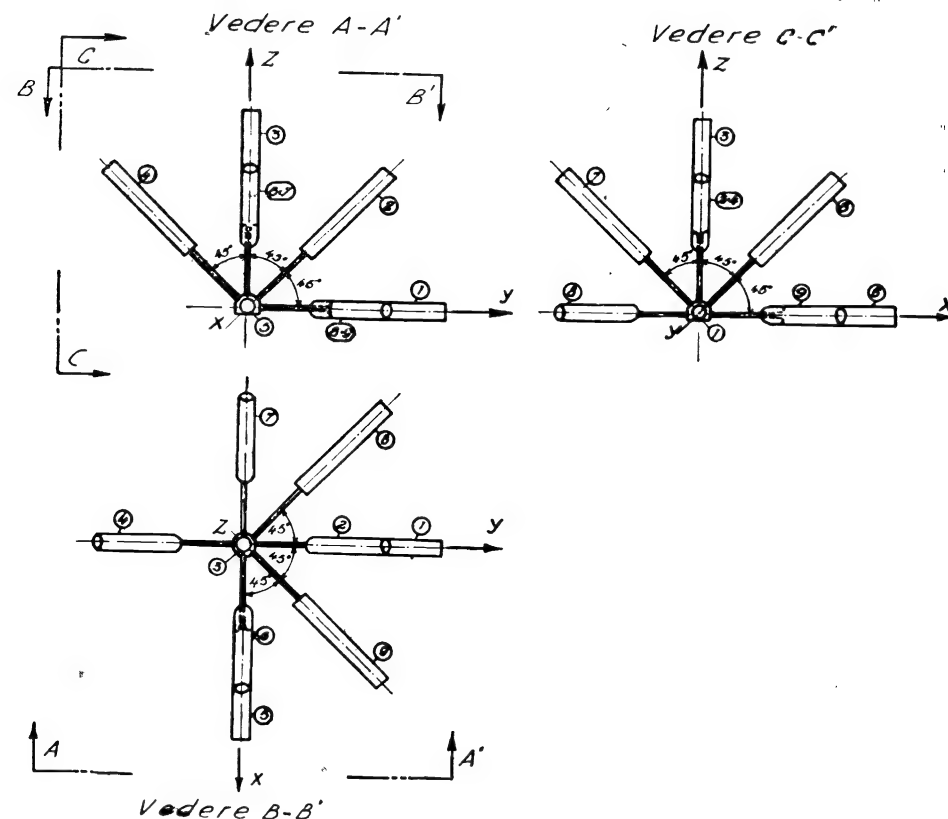


Fig. 100. — Forma de lucru în stea.

Steaua. În cazul când se urmărește determinarea deformațiilor în spațiu, și deci starea tensiunilor corespunzătoare, se utilizează forma de lucru numită în stea (fig. 100).

Pentru determinarea stării spațiale a deformațiilor sînt necesare șase teleformetre.

Și în acest caz este indicat a se dispune de posibilitatea de control a valorilor măsurate.

De aceea este preferabil să se completeze steaua cu încă trei teleformetre.

În cazul stelei, numărul aparatelor poate varia de la cinci la nouă.

În figura 101 se redă schema unei stele complete. (în vedere axonometrică).

Steaua este compusă din nouă teleformetre, care formează între ele unghiuri de 45°. În planul XZ, plan paralel direcției curentului, se găsesc teleformetrele 1, 2, 3 și 4, în planul YZ, paralel axei barajului, se găsesc teleformetrele 3, 5, 6 și 7, iar în planul orizontal XY se găsesc teleformetrele 1, 5, 8 și 9.

În felul acesta în fiecare plan sînt patru teleformetre, dispoziție ce corespunde rozetei menționate.

Pozițiile impuse atât rozetei cît și stelei, se păstrează în timpul betonării cu ajutorul suporturilor și al capului de susținere.

Teleformetrul de nul. Pe lângă fiecare rozetă sau stea este prevăzut cîte un teleformetru de nul, care ne dă posibilitatea de a stabili deformațiile ce nu pricinuiască modificarea eforturilor interioare, deci deformațiile volumetrice libere.

În acest scop se izolează o prismă de beton în apropierea formei de lucru cu ajutorul unui tipar de formă cilindrică cu pereții dublați din tablă și care închide între ei un spațiu de aer, în care se îmbetonează un teleformetru numit în acest caz de nul (fig. XIX).

Tabla din interiorul cilindrului (fig. 102) trebuie să fie subțire și căptușită cu cîteva straturi de carton asfaltat, pentru a nu fi împiedicate deformațiile betonului.

La un capăt tiparul cilindric este deschis, pentru a nu fi derajantă continuitatea betonului, deci se poate presupune că în interiorul tiparului nu ia naștere nici un fel de efort la orice stare de încărcare, dar betonul din interior este întotdeauna supus unor condiții identice betonului din jur, avînd de asemenea calități identice în ceea ce privește temperatura, umiditatea, contracția, priza etc.

Fundul tiparului cilindric se armează cu corniere duble, conform schemei din figura 102.

Teleformetrul îmbetonat singur. De multe ori se impune folosirea numai a unui singur teleformetru. Acest lucru se întâmplă fie din cauza lipsei de aparate, fie din cauza lipsei de spațiu necesar, fie din cauza scopului urmărit.

În acest caz se face o groapă în beton, în care se așază teleformetrul. Dacă dorim să așezăm aparatul într-o poziție verticală, se face cu vibratorul o groapă în beton, în care se introduce teleformetrul, apoi groapa se astupă cu mîna.

Pentru măsurarea cu ajutorul telohmetrului sînt necesare o serie de piese accesorii.

Suportii teleformetrelor. Pozițiile impuse atât rozetei cît și stelei se păstrează în timpul betonării cu ajutorul suporturilor.

Suportii trebuie să asigure în timpul funcționării lor păstrarea direcției teleformetrelor în formele de lucru, o fixare elastică și o ușoară învîrtire în jurul axei lor.

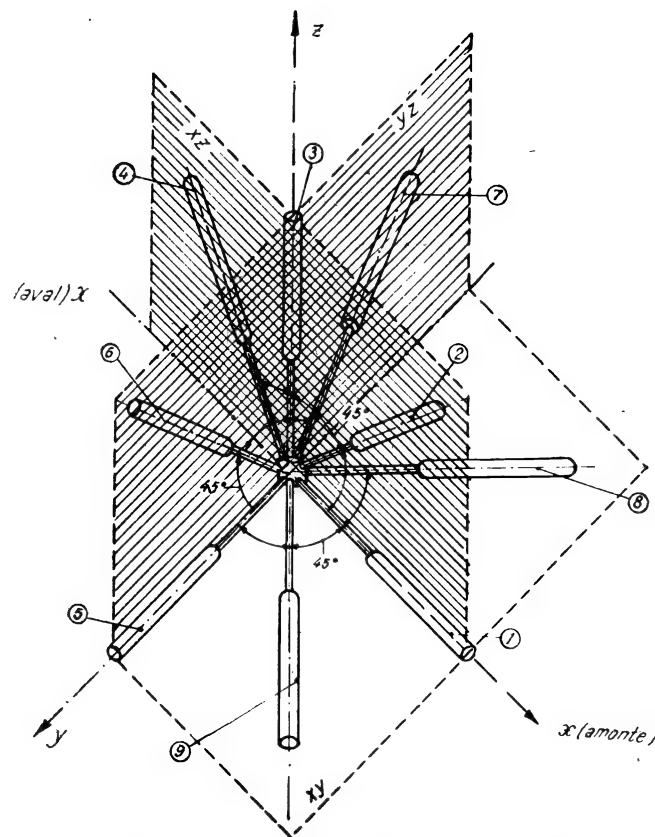


Fig. 101. — Stea completă (vedere axonometrică).

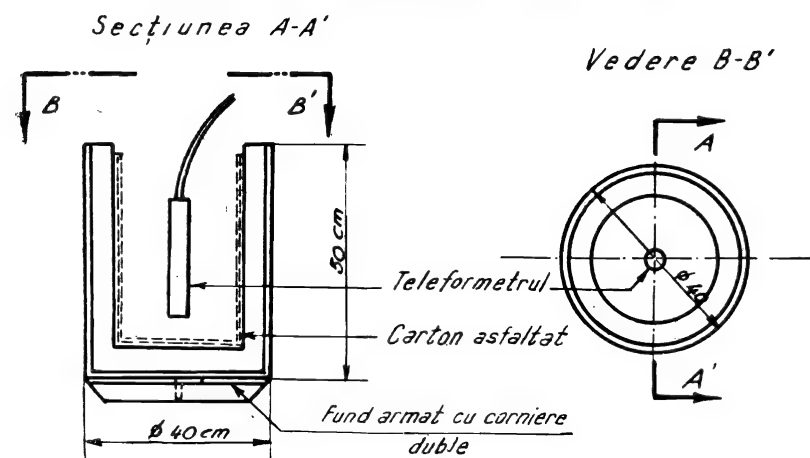


Fig. 102. — Tiparul teleformetrului de nyl.

Păstrarea direcției teleformetrelor este foarte importantă, de ea depinzând repartitia eforturilor interioare pe direcțiile cerute. Fixarea elastică a aparatului precum și posibilitatea unei ușoare învîrtiri în jurul axei sînt condiții necesare pentru împiedicarea transmiterilor de eforturi între aparate.

Se va avea în vedere ca fixarea să nu fie prea elastică, pentru a fi împiedicată posibilitatea înclinării aparatelor în timpul îmbetonării lor.

Suportilor li se mai pune condiția să nu fie prea lungi, pentru ca teleformetrele să nu fie prea îndepărtate de capul de susținere și, totodată, nici prea scurte, pentru ca betonarea să se poată face în bune condiții.

Părțile componente ale unui suport sînt :

Un suport auxiliar, care are forma unui dorn din metal inoxidabil (fig. 103 a). Un capăt al suportului auxiliar este prevăzut cu un filet care face posibilă înșurubarea în capul de susținere a forme de lucru. Filetul are pasul $s = 1$ mm. În continuarea filetului dornul este prevăzut cu o formă specială, care se termină cu o formă hexagonală ce dă posibilitatea învîrtirii mai ușoare a suportului în capul de susținere.

La capătul opus filetului s-a prevăzut o gaură care dă posibilitatea prinderii suportului auxiliar de teacă-suport.

Un tub de cauciuc se trage peste suportul auxiliar. Rolul cauciucului este de a permite o prindere elastică a teleformetrului.

Teacă-suport (fig. 103 b), pentru ca să fie bine fixată de suportul auxiliar și de tubul de cauciuc, ea este prevăzută la un capăt cu o gaură în care se introduce un știft. La un capăt teacă-suport are o formă tronconică.

Teacă-suport se sudează de o platbandă circulară (fig. 103 d). La periferia platbandei sînt prevăzute trei găuri așezate la 120° una de alta, ce permit prinderea suportului de teleformetru.

Platbanda are centric o gaură și excentric o alta care permite introducerea șurubului teleformetrului.

În acest sens, se taie din peretele tecii suport ce vine în dreptul găurii, un pătrat de 7×7 mm, astfel încît să existe o cît mai bună păsuire între teleformetru și suport.

Tot ansamblul de piese : suport auxiliar, tub de cauciuc, teacă-suport și platbandă formează suportul teleformetrului (fig. 103 c).

Greutatea unui suport este de circa 170 g.

Capul de susținere al steei. Capul de susținere al steei este o piesă din metal (bronz) de formă octogonală. Ea servește ca susținător al celor nouă suporturi ale teleformetrelor. În acest sens se filetează nouă găuri dispuse în trei planuri ce trec prin cele trei axe de coordonate XYZ , ceea ce revine la cîte trei aparate de fiecare plan.

În același plan, teleformetrele sînt dispuse ca să facă unghiuri de 45° (fig. 104).

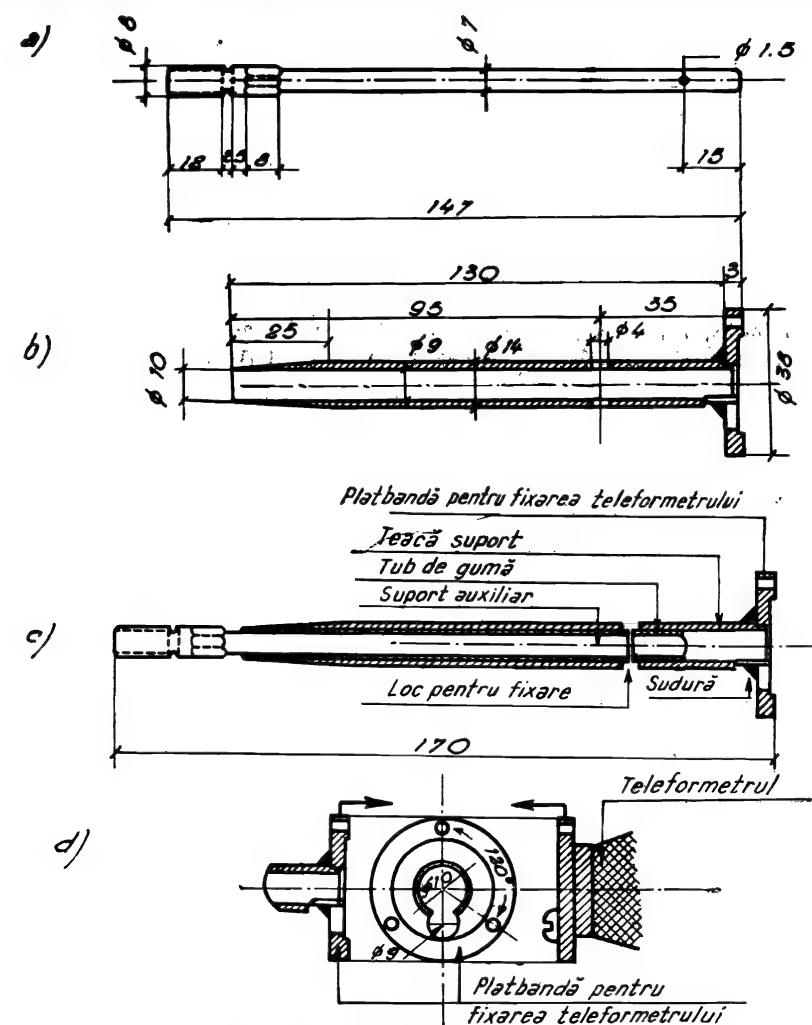
Lungimea unei găuri este de 13 mm, iar filetul are pasul $s = 1$ mm.

Diametrul unei găuri este de 8 mm.

Pentru ușurința fixării, găurile sînt numerotate de la 1 la 9. Axele de coordonate de asemenea sînt însemnate pe capul de susținere.

Laturile octogonului s-au prevăzut a fi de câte 20 mm lățime. Greutatea totală a unei piese este de circa 450 g.

Capul de susținere al rozetei. Forma de execuție, dimensiunile și greutatea capului de susținere al rozetei corespund cu cele de la stea.



Singura diferență este că în cazul capului de susținere al rozetei se filetează numai patru găuri, dispuse în același plan, făcând unghiuri de 45° între ele.

Găurile au $l = 13$ mm, pasul $s = 1$ mm și diametrul 8 mm.

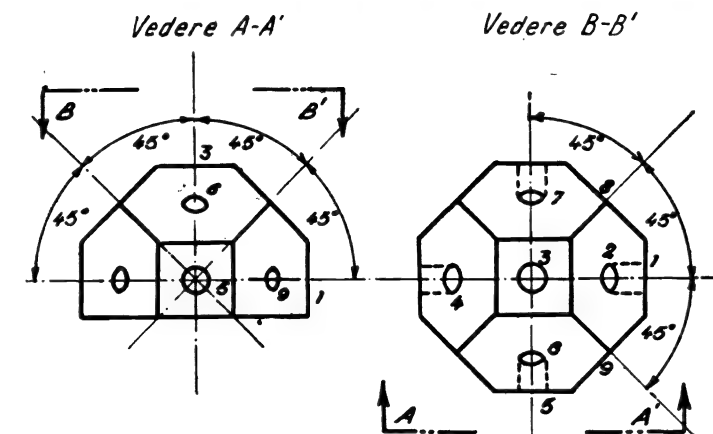
Se prevăd patru găuri dispuse la 45° în același plan pentru a se putea face un control util deformațiilor măsurate pe baza relației (64).

Pentru ușurință, în timpul montării se poate prevedea capul de susținere cu un stabilizator.

Îmbetonarea telemetrelor. La îmbetonarea telemetrelor în corpul barajului trebuie să se țină seama de scopul măsurării, de aparatele ce se vor folosi și de numărul lor necesar pentru a se obține rezultatele cerute.

Prin instalarea aparatelor în beton și prin măsurarea deformațiilor sau a altor mărimi, care depind de principiul aparatului, vom obține prin calcul dilatațiile sau contractiile betonului cu ajutorul cărora se vor putea determina eforturile în corpul barajului.

Pentru instalarea aparatelor trebuie aleasă o parte a barajului în care să putem decide cu siguranță care este starea eforturilor interioare.



Este important să fie cercetată starea tensiunilor în apropierea tălpii de fundație, deoarece în acest caz putem să ne pronunțăm asupra repartiției sarcinilor și eforturilor în interiorul betonului.

De aceea este necesar ca telemetrele să fie amplasate cât mai aproape de talpa de fundație, în orice caz în prima lamelă betonată.

Rezultatele măsurătorilor servesc la urmărirea întăririi betonului și a schimbărilor de volum și de temperatură în raport cu această întărire.

Prin compararea valorilor măsurate, cu valoarea tensiunilor folosite în calculul static, obținem certitudinea dacă ipotezele alese în calcul corespund realității și care este coeficientul de siguranță final al lucrării.

Deformațiile interioare ale betonului sînt măsurate cu ajutorul aparatelor ce se instalează definitiv în beton. Aparatele se așază fie în rozetă, fie în stea, după cum se urmărește starea eforturilor plană sau spațială (fig. XV și XVIII). Lucrările de betonare și cele de instalare a telemetrelor sînt două moduri de muncă care sînt greu compatibile și în cazul cînd au un factor comun, de exemplu:

— același loc și timp de betonare și de instalare.

Lucrările necesare îmbetonării aparatelor se împart în două grupe: Lucrări pregătitoare îmbetonării.

îmbetonarea propriu-zisă.

a) *Lucrări pregătitoare îmbetonării.* Teleformetrele trebuie pregătite înainte de îmbetonare, astfel încât atunci când betonarea lamelor a ajuns la cota fixată pentru instalarea formelor de lucru, acestea să fie gata de îmbetonare.

În ordinea succesiunii, lucrările pregătitoare constau în :

manipularea teleformetrelor,
etalonarea teleformetrelor,
vulcanizarea conductelor de cablu,
numerotarea teleformetrelor,
aranjarea formelor de lucru (rozeta și stea),
tamburul pentru cabluri.

Manipularea teleformetrelor. Teleformetrele sînt livrate într-un ambalaj special. Ele trebuie despachetate la locul de montare și cu puțin timp înainte de îmbetonarea lor.

Teleformetrele fiind aparate sensibile și de dimensiuni foarte mici în comparație cu lamelele unde vin îmbetonate, trebuie ca ele să fie ferite de lovituri axiale, sau de orice altă natură (descărcarea betonului din platforme de turnare sau vibrație în apropierea formelor de lucru), îndoiri sau trageri cu forța a conductelor de cablu.

În al doilea rînd trebuie prevăzut un plan de lucru de așa manieră încît nici lucrările de betonare, armare, cofrare, decofrare, etc. și nici programul îmbetonării aparatelor să nu fie deranjate din continuitatea lor.

Etalonarea teleformetrelor. Pentru a avea o siguranță deplină că în beton se îmbetonează numai telefor-

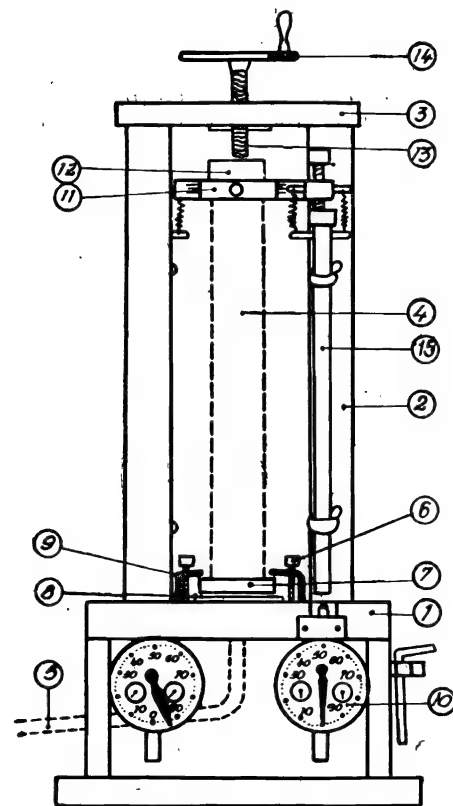


Fig. 105. — Telecalibrator.

metre în stare bună de funcționare, se recomandă o verificare puțin înainte de montare.

Aparatul de care ne servim în acest scop este telecalibratorul.

Telecalibratorul este un aparat confecționat dintr-un cadru rigid din oțel, fixat cu ajutorul a două fălci laterale pe o placă de lemn (fig. 105).

Cadrul rigid este format dintr-o bară-suport 1, două țevi de oțel 2 și bara de sus 3.

La mijlocul barei 1 este prevăzută o gaură cu diametrul de 20 mm, prin care trece cablul 5 al teleformetrului și peste care se prinde cu un șurub 6 inelul de sprijin 8. La partea superioară, inelul este prevăzut cu o

suprafață opusă, de aceeași formă a inelului 7 pe care se așază teleformetrul 4.

Aceste inele se fixează prin două bride 9.

Tot pe bara 1 se prind cele două microcomparatoare 10. Flanșa superioară a teleformetrului este fixată prin bride 11 și duse lateral în tuburile de oțel.

În flanșa teleformetrului se fixează un cilindru de metal 12. La partea de sus a cilindrului este fixată o bilă pe care apasă fusul micrometrului 13 prin învîrtirea discului 14.

La partea inferioară cilindrul 12 este prevăzut excentric cu o scobitură în care intră șurubul teleformetrului.

Scurtarea aparatului este transmisă cu ajutorul bridei 11 și a celor două tije de oțel 15 microcomparatoarelor.

Teleformetrul trebuie așezat în cadru astfel încît brida 11 să se miște liber în deschizătura fixată în peretele tubului fără a-l atinge. Apoi se strîng bridele 9 pînă ce teleformetrul este fix în cadru. Cablul 5 al aparatului se leagă la telohmetru.

Citirea și etalonarea se face în modul următor :

Prin învîrtirea discului se imprimă teleformetrului o scurtare Δl . Această scurtare este înregistrată de cele două microcomparatoare, a căror precizie este de 0,001 mm și care au un domeniu de măsurare de 5 mm.

Se face un tabel în care se trec citirile celor două microcomparatoare, precum și citirea la telohmetru (variația Δz a raportului rezistențelor R_1/R_2).

Valoarea medie a citirilor la microcomparatoare ne arată scurtarea Δl a lungimii de măsurare l a teleformetrului.

Cifra de etalonare f , care este dilatația ce se referă la o variație de rezistență $\Delta z = 0,01\%$, rezultă din relația

$$f = \frac{\Delta l}{l} \cdot \frac{1}{\Delta z} \quad (65)$$

Afară de această verificare, care se face pentru fiecare teleformetru, se mai impune următoarea verificare, ce trebuie făcută înainte de îmbetonare cît și după îmbetonare.

Se măsoară întreaga rezistență R_t și valoarea raportului rezistențelor z , care trebuie să concorde cu valorile arătate în certificatul de etalonare dat de firma constructoare. Se va avea grijă ca cifra raporturilor rezistențelor z să nu iasă din domeniul de măsurare indicat în certificatul de etalonare.

Legarea conductelor de cablu. Fiecare aparat este prevăzut cu cîte un cablu de 1 m lungime, al cărui capăt vine matisat, lipit și vulcanizat de circuitul de cablu necesar pînă la stația definitivă de măsurători.

Această operație este necesară pentru ca să nu pătrundă umezeala sau apa în interiorul aparatului, lucru ce ar reduce izolarea electrică.

În figura 106 sînt reprezentate schematic etapele de legare ale unui cablu cu trei fire (după Huggenberger).

Mai întîi se îndepărtează de pe cablu protecția de cauciuc pe circa 170 mm (fig. 106 a).

Se scurtează apoi fibrele de lungime 90, 125 și 160 mm (fig. 106 b) și se îndepărtează izolația de pe conductorii cablului pe circa 70 mm; lițele de cupru se dezrăsucesc și se întind (fig. 106 c).

Punctele ce vin matisate se repartizează uniform și se matisează. În acest scop se răsucesc conductorii de aceeași culoare, iar surplusul la capete se îndepărtează prin tăiere (fig. 106 d). Lițele de cupru ale conductorilor de aceeași culoare se lipesc prin sudare cu cositor (fig. 106 e).

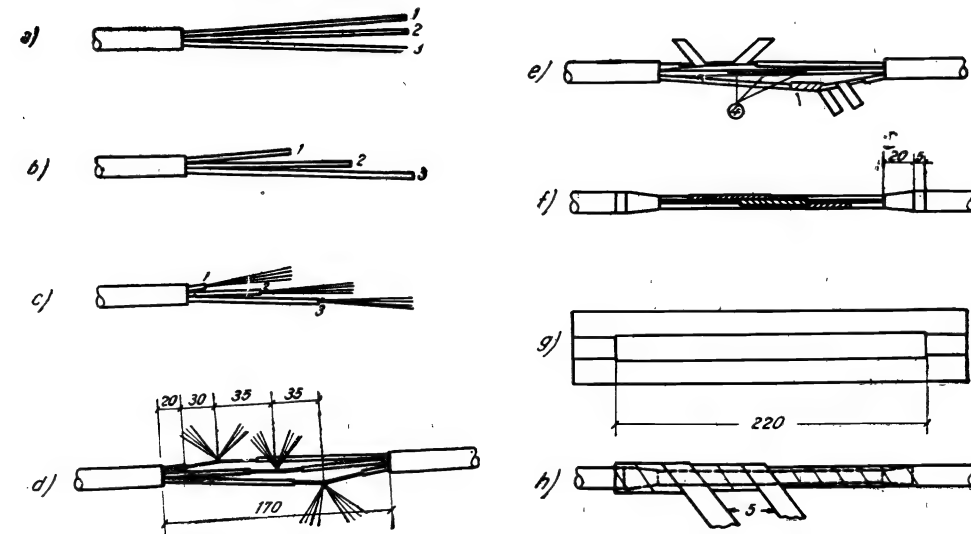


Fig. 106. — Etapele de legare a cablurilor (după Huggenberger).

Apoi porțiunea sudată se înfășoară cu mătase sau bumbac peste care se pune panglică de vulcanizare albă în două straturi suprapuse. Această înfășurare trebuie să treacă peste protecția conductorului cu aproximativ 5 mm.

Capătul panglicii de cauciuc se leagă cu bumbac. Pe o porțiune de circa 20 mm, capetele cablului vin aranjate în formă de trunchi de con (fig. 106 f). Suprafața trunchiului de con cu aceea reiesită din lungimea de 5 mm se face rugoasă cu ajutorul unei pile. În figura 106.g, se arată întreaga porțiune ce se vulcanizează.

Capetele cablului se spală cu benzină și se acoperă cu un strat subțire de soluție de cauciuc. Cei trei conductori împreună cu 25 mm de o parte și de alta a cablului, se înfășoară după uscare cu o panglică de vulcanizare neagră în patru straturi, până ce diametrul ajunge cu circa 4 mm mai mare decât diametrul cablului. Suprafața înfășurării trebuie să fie cât se poate de uniformă (fig. 106 h). În acest mod matisarea și lipirea sînt terminate și legătura este gata pentru vulcanizat.

Legătura astfel pregătită se introduce în aparatul de vulcanizat (fig. XXII), care este prevăzut și cu un termometru gradat între 0—200°C, cu diametrul de 7—8 mm.

Caracteristicile aparatului de vulcanizat sînt următoarele:

- puterea 800 W,
- temperatura de vulcanizare 150°C,
- durata procesului de vulcanizare 15 minute,
- greutatea aparatului 43,5 kg,
- timpul de încălzire pînă la 150°C durează $1\frac{1}{2} \div 2$ ore.

După răcirea porțiunii vulcanizate se înlătură cauciucul de prisos și se examinează din nou atît teleformetrul cît și legătura.

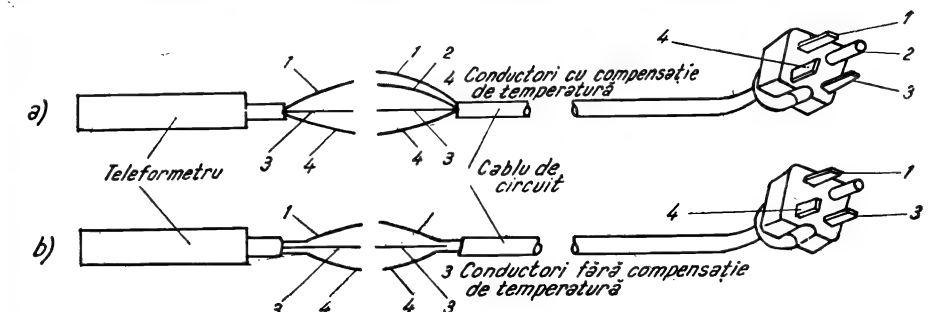


Fig. 107. — Compensarea influenței temperaturii.

Rezistența telemetrelor este influențată de variația temperaturii în lungul circuitului de cablu. De aceea, la interpretarea citirilor trebuie eliminată influența acestui factor.

În practică, influența temperaturii poate fi compensată prin folosirea unui fir suplimentar în cablu (fig. 107).

În acest caz, telemetrele prevăzute cu un cablu cu trei conductori (fig. 107 b) teleformetre, telepresmetre, teledilatometre etc.) vor fi legate la un cablu cu patru conductori (fig. 107 a). Conductorii 1 și 2 ai cablului de circuit vor fi legați de conductorul 1 al telemetrului. Conductorii 3 și 4 vor fi legați la numerele corespunzătoare ale conductorilor telemetrelor.

Numerotarea telemetrelor. Pentru a se evita eventualele greșeli care ar putea să survină la instalarea formelor de lucru prin legarea capetelor conduc-

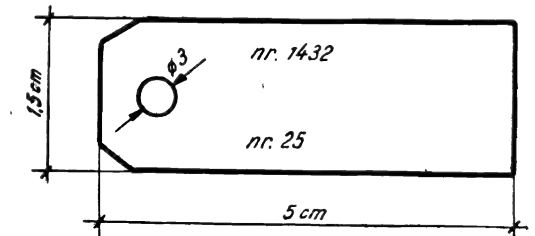


Fig. 108. — Tăbliță din metal.

telor de cablu altor telemetre decât celor reale, se înzestrează aparatele cu cîte două tăblițe din metal (fig. 108), pe care se trece atît numărul de livrare al aparatului, cît și numărul primit în timpul proiectării. O tăbliță se fixează lîngă teleformetrul și alta la capătul cablului. Numărul de livrare este necesar pentru găsirea caracteristicilor aparatului

(cifra de etalonare, domeniul de măsurare etc.) în certificatul de etalonare.

Aranjarea formelor de lucru. După vulcanizare, teleformetrele se împart definitiv în formele de lucru prevăzute: rozetă, stea și teleformetrul de nul. Se va avea în vedere ca teleformetrele din aceeași serie de livrare, care au aceeași constantă, să fie instalate în aceeași formă de lucru.

După repartizare se execută în flanșa fiecărui teleformetru trei găuri cu diametrul de 3 mm dispuse la 120° pe periferia cercului. Cu ajutorul a trei șuruburi se prinde aparatul de suportii teleformetrului (fig. 103), suportii care la rîndul lor vin înșurubați în capul de susținere al formei de lucru respective (rozetă sau stea).

Suportii teleformetrelor și capul de susținere al stelei și rozetei păstrează poziția impusă formei de lucru atît în timpul betonării cît și după betonare.

Fiecare formă de lucru este înzestrată cu un teleformetru de nul pentru înregistrarea deformațiilor volumetrice libere. Tiparul metalic prevăzut pentru păstrarea teleformetrului de nul se numerează.

Tamburul de cabluri. Ținînd seama de faptul că îmbetonarea formelor de lucru trebuie începută imediat după turnare, cînd betonul este încă proaspăt și că fiecare teleformetru din forma de lucru este prevăzut cu un cablu ce poate atinge o lungime de circa 150 m, deci la o stea completă se poate ajunge la un total de cablu de peste un kilometru.

Cu astfel de lungimi de cabluri este greu de lucrat mai ales în condițiile grele de lucru din timpul betonării barajului.

În vederea ușurinții transportului, a instalării și a măsurării, se confecționează din lemn tambure de forma și dimensiunile din figura 109.

Pe aceste tambure se înfășoară cablul, al cărui capăt se scoate prin cele două orificii cu diametrul de 15 mm; la acest capăt se fac măsurătorile. Tamburul mai este prevăzut cu un orificiu cu diametrul de 20 mm, permițînd așezarea lui pe pereții stațiilor provizorii de măsurare, în piese de metal special amenajate pentru acest scop.

Tamburele primesc numerele indicate pe plăci fixate la aparate și se marchează pe lemn cu o culoare roșie sau neagră.

b) **Îmbetonarea propriu-zisă.** După ce ne-am asigurat de protecția aparatelor în contra oricărui deranjament, se începe îmbetonarea propriu-zisă a aparatelor imediat ce lamela a ajuns la cota fixată în proiect.

Teleformetrele nu se acoperă cu beton în timpul betonării lamelei, ci se introduc în beton la sfîrșitul lucrărilor zilnice de betonare.

Instrumentele și conductele de cablu sînt așezate la aproximativ 60 cm sub rostul zilnic de lucru, într-o groapă special pregătită atît pentru rozetă sau stea, cît și pentru teleformetrul de nul.

Pentru teleformetrele ce vin singure îmbetonate, se amenajează pe loc gropi cu sapa sau cu ajutorul unui vibrator, astfel ca aparatul să stea comod înăuntru.

În figura 110 este dat planul de cofraj al unei instalații tenzometrice complete. Groapa se acoperă cu precauție cu beton, după ce în prealabil au fost înlăturate pietrele mari. Atît groapa cît și canalele pentru

conducerea cablurilor se acoperă cu mina, avîndu-se în vedere ca în jurul aparatelor să fie așezate un beton cît mai fin.

Betonul de acoperire trebuie să fie același cu cel din jurul formei de lucru și trebuie să aibă deasupra acestor forme de lucru și pînă la suprafața lamelei o înălțime de circa 15–20 cm. Acest strat protejează aparatele contra derajamentelor ce ar putea apare la curățirea suprafeței lamelei sau la pregătirea cofrajului pentru continuarea betonării etc.

În cazul cînd nu se poate asigura un strat de beton de 15 cm grosime pînă la suprafața lamelei, se prevede un strat de beton suplimentar pînă la atingerea înălțimii de beton, prescrisă (fig. 110).

Instalarea capului de susținere a formelor de lucru la o adîncime mai mare de 60 cm îngreuează executarea instalării aparatelor.

Pentru aparatele ce vin așezate în poziție orizontală sau ușor înclinate, se sapă un mic șanț în care se așează aparatele și conductele de cablu.

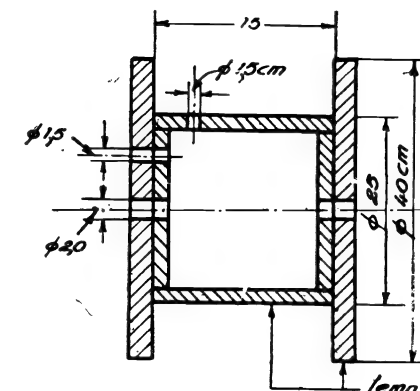


Fig. 109. — Tambur pentru înfășurarea cablului.

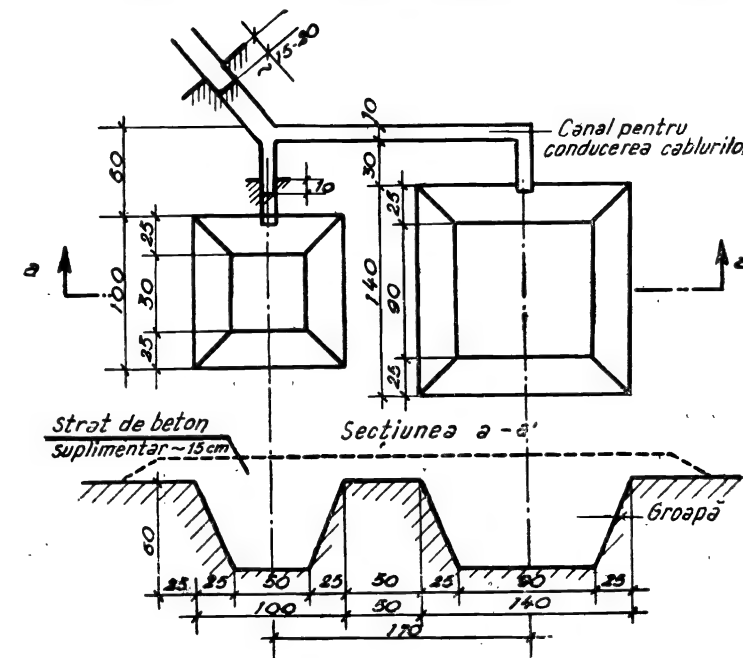


Fig. 110. — Planul de cofraj al unei instalații tenzometrice complete.

Betonul se pune cu precauție, astfel ca rozeta sau steaua să nu fie înclinată din direcția cerută. Betonul se bate ușor. Vibrarea nu este permisă.

Simultan se pune în groapa pregătită teleformetrul de nul.

Pentru aceasta, se umple mai întâi cu beton tiparul cilindric al teleformetrului de nul, apoi — cu o vergea metalică având un diametru mai mare decât al aparatului sau cu un vibrator — se face o gaură în care se introduce aparatul. Se astupă totul cu multă atenție. Atât timp cât betonul mai este moale, este interzisă orice batere, vibrație și golire de bene cu beton deasupra locului de montare.

Canalele pentru cabluri se fac pătrate sau dreptunghiulare, în funcție de numărul de cabluri deservite. Dimensiunile variază între 10×10 cm și 25×25 cm.

Conductele de cablu se leagă în mănunchi la distanță de 1,5–2 mm și apoi se astupă cu beton (fig. XVI).

Cablurile ce ies din beton trebuie protejate împotriva oricăror deranjamente.

Tamburele cu cabluri, care din cauza programului de betonare nu se pot duce și proteja în stațiile provizorii de măsurători, se vor proteja pe locul respectiv, într-o ladă cu închizătoare.

Canalele verticale trebuie prevăzute cu mustăți în beton la circa 1,5–2 m pentru fixarea cablurilor. Concomitent cu ridicarea blocului de beton se conduc și conductele de cablu prin canalele fixate, mai întâi la stațiile provizorii, apoi la stația centrală de măsurători.

O atenție deosebită și măsuri speciale se vor lua la trecerea conductelor de cablu prin rosturile de dilatație. Trecerea se poate face printr-o conductă metalică ce traversează rostul de dilatație și în care cablurile se pot mișca cu ușurință sau prin izolarea conductei de cablu pe o lungime de circa 50 cm de o parte și de alta a rostului de trecere.

Stația provizorie de măsurători. Stația provizorie de măsurători servește pentru măsurătorile ce se execută până la terminarea stației centrale și poate să dureze și câțiva ani de zile. Ea se amplasează într-o nișă special amenajată, într-o galerie a barajului sau la un loc accesibil al construcției respective. Nișa se proiectează astfel încât să cuprindă toate tamburele cu cablurile respective și, totodată, să adăpostească cutiile de priză pentru măsurători precum și alte materiale necesare în timpul instalării aparatelor.

În timpul neutilizării, nișa este prevăzută cu o ușă pentru a putea fi închisă. În peretele nișelor se prevăd un fel de cuier din fier beton în care vin introduse tamburele.

Stația definitivă de măsurători. În stația definitivă de măsurători se aduc toate cablurile circuitului. Aici se conectează puntea de măsură, telohmetrul, pentru executarea măsurătorilor.

De obicei, această stație se proiectează într-o galerie a barajului. În peretele galeriei se prevede o nișă în care se încastrează cutiile terminale. Fiecare cutie terminală conectează 20 de cabluri. Numărul cutiilor depinde de numărul aparatelor și se așează pe unul sau două rânduri.

În spatele acestei nișe se proiectează, de obicei, o mică încăpăre care trebuie să fie uscată și în care electricianul face legăturile necesare.

Cutia terminală. Cutia terminală (fig. 111 a și b și fig. XX) constă dintr-o carcasă metalică cu dimensiunile de $33,8 \times 30,5 \times 27,5$ cm. În interior, un grătar de ebonit 3, prevăzut cu 20 de orificii dreptunghiulare numerotate, lasă să iasă fișele de contact 1 prinse pe suportul 2 (fig. 111 a).

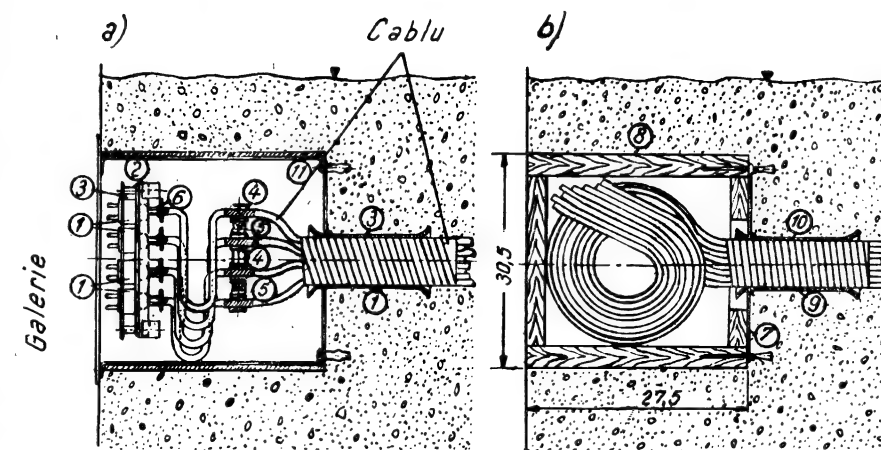


Fig. 111. — Cutia terminală cu 20 puncte de măsură.

Conductorii cablurilor, după ce în prealabil au fost fixați cu ajutorul bridelor 6 pe suportii 5, se sudează la fișele de contact corespunzătoare.

Lungimea cablurilor în interiorul cutiei trebuie să fie suficientă pentru a se putea face cu ușurință legăturile necesare.

Prin intermediul bridei 4 conductorii sînt protejați contra oricărui efort de tracțiune.

Peretele metalic 7 al cutiei terminale este demontabil și se prinde de un cofraj din lemn 8 (fig. 111 b) ce se îmbetonează.

În centrul peretelui 7 este sudată o conductă metalică 9, prin care circuitul de cabluri 10 înfășurat cu o bandă izolatoare intră în interiorul cutiei.

Cablurile din interiorul cofrajului se așează sub formă de colac. După întărirea betonului se scoate cofrajul de lemn și se prinde restul carcasei cutiei prin șuruburile 11.

Spațiul rămas pe margine se umple cu mortar de ciment.

Fișa terminală. Pentru un număr mai mic de opt aparate se folosesc, în locul cutiilor terminale, fișe terminale. Fișele terminale constau dintr-o carcasă special amenajată pentru legarea la conducta de cablu și conectarea la telohmetru (fig. XXI).

Pentru a fi ferite de deteriorare, fișele se instalează în nișe special prevăzute în peretele galeriei. După decofrare, nișele se scliviesc cu o tencuială curată, de 1 cm grosime.

În figura 112 se dă planul de cofraj pentru cutii terminale cu 20 de puncte de măsură și pentru fișe terminale.

Exemple de îmbetonarea teleformetrelor în străinătate. La montarea teleformetrelor în corpul unui baraj din Republica Cehoslovacă s-a avut în vedere numărul restrîns de aparate și s-a urmărit posibilitatea cercetării a cît mai multe puncte, pentru a avea o imagine clară a curbei deformațiilor atît în secțiune orizontală cît și verticală pentru a se putea exprima în cifre modulul de elasticitate.

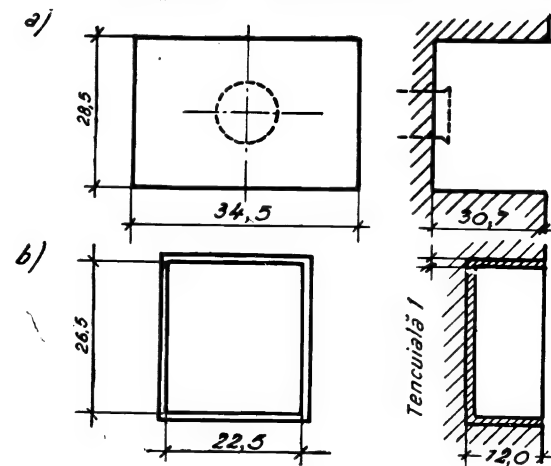


Fig. 112. — Planul de cofraj.

a) pentru cutii terminale; b) pentru 1-2 fișe terminale.

îmbetonate într-un plan vertical trecînd prin axa blocului și anteblocului.

În antebloc s-au ales trei locuri de măsurat în care să se cerceteze starea eforturilor interioare numai în planul vertical axei barajului (fig. 113). Din cauza numărului restrîns de aparate, nu s-a putut cerceta starea spațială a eforturilor interioare. Considerînd însă că profilul anteblocului este același în toată lățimea, sau aproape același, și presupunînd că încărcarea este proporțională în antebloc, se poate admite că eforturile interioare ce ar apare paralel cu axa barajului ar fi practic nule. În corpul barajului propriu-zis s-au ales patru locuri (fig. 113), fiind considerate ca un număr minim posibil.

Aparatele au fost amplasate astfel, încît au ocupat în mod proporțional toată baza blocului. La marginile blocului, numerele 4 și 7, unde s-a presupus presiunea maximă, s-au așezat teleformetre în stea, iar în interior, numerele 5 și 6 s-au instalat rozete.

În cazul stelelor s-au folosit numai cîte șapte aparate, determinînd starea deformațiilor numai în două planuri verticale, considerate ca planuri principale ale stării spațiale de eforturi.

Unul din aceste planuri este paralel cu direcția curentului apei, celălalt perpendicular pe aceeași direcție. Deci, în fiecare plan există cîte un teleformetru de control iar teleformetrul vertical este comun ambelor planuri. În acest caz, măsurarea deformațiilor în plan orizontal nu se mai face.

Lîngă fiecare rozetă sau stea s-a amplasat cîte un teleformetru de nul pentru înregistrarea deformațiilor volumetrice libere, independente de starea eforturilor interioare.

Fiecare aparat din forma de lucru are propriul său cablu, vulcanizat la un cablu cu patru conductori, care este condus pînă la stația definitivă de măsurători unde este legat la cutia de priză.

Din motive constructive și de bună funcționare, la acest baraj s-au executat inițial două stații provizorii de măsurători.

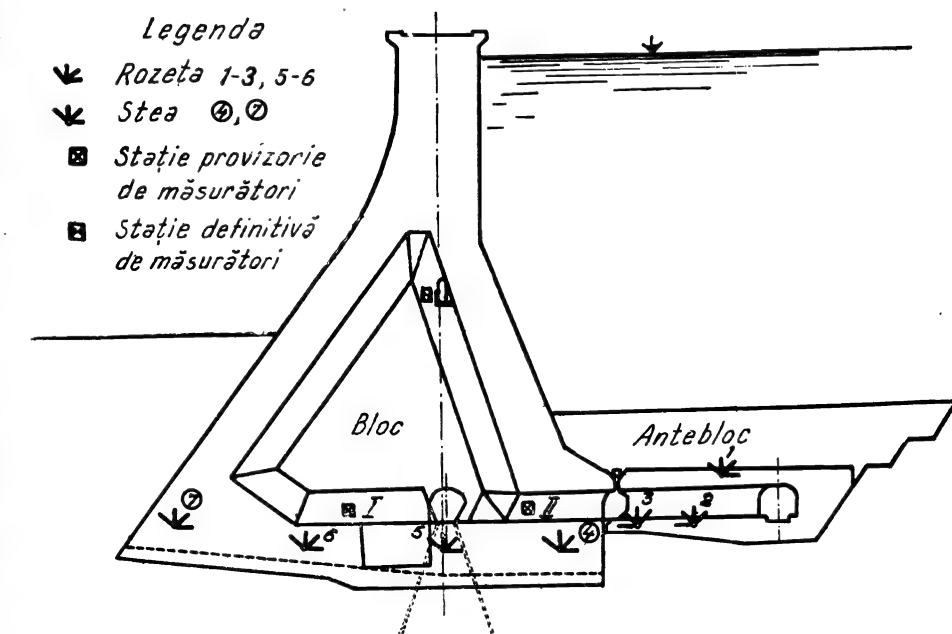


Fig. 113. — Amplasarea rozetelor și stelelor în corpul unui baraj din Cehoslovacia.

O dată cu ridicarea blocului de beton, cablurile vor fi duse pînă la stația definitivă de măsurători.

Instalarea formelor de lucru s-a făcut conform proiectului. Au apărut unele schimbări, care nu au influențat însă cu nimic programul măsurătorilor.

În tabela 2 se dă programul de instalare a formelor de lucru.

În figura 114 se dă modul de amplasare al formelor de lucru cu tensometre în interiorul barajului American Hiwassee. Barajul este tip de greutate cu o înălțime maximă de 90 m și lățimea la bază de circa 70 m.

Betonarea barajului a început în anul 1938, a fost terminată la începutul anului 1940 și este amplasat pe riul Tennessee.

Tabela 2

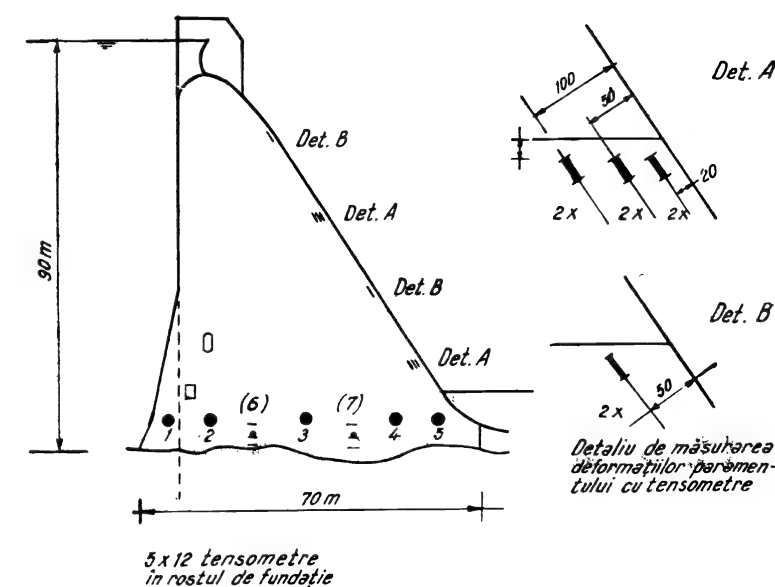
Nr. forme de lucru	Poziția	Felul forme de lucru	Începutul betonării lamelei	Sfârșitul betonării lamelei	Instalarea formelor de lucru	Observații
1	antebloc	rozetă	19.00	23.30	24.00	La numărător s-a trecut ora iar la numitor ziua și luna
			17.VII	18.VII	18.VII	
2	"	"	21.00	20.00	22.00	
			4.VII	5.VII	5.VII	
3	"	"	21.00	8.00	19.00	
			4.VII	5.VII	5.VII	
4	bloc	stea	0.00	1.00	4.30	
			21.VIII	23.VIII	23.VIII	
5	"	rozetă	17.00	9.30	11.15	
			26.VIII	27.VIII	27.VIII	
6	"	"	19.00	12.00	14.30	
			20.VIII	21.VIII	21.VIII	
7	"	stea	18.30	11.30	17.00	
			27.VIII	28.VIII	28.VIII	

În corpul barajului în total au fost îmbetonate 90 bucăți tensometre tip Carlson, în 5 grupe a câte 12 bucăți și amplasate în talpa fundației în axa blocului.

Într-o grupă de lucru s-au fixat 12 tensometre, în următoarea situație: 4 tensometre sînt fixate orizontal dintre care 2 sînt paralele curentului de apă și 2 perpendiculare pe direcția curentului, 2 verticale, 4 bucăți tensometre sînt înclinate la 45° dintre care 2 bucăți în direcția curentului și 2 bucăți în contra curentului de apă. Grupa de lucru mai este prevăzută cu 2 teleformetre de nul, fixate la extremitatea grupei. Pentru determinarea deformațiilor paramentului, s-au introdus paralel cu suprafața paramentului tensometre în patru puncte.

În figura 115 se dă barajul american Shasta, amplasat pe râul Sacramento. Barajul este tip de greutate cu o înălțime maximă de 180 m și o lățime de circa 170 m.

La acest baraj măsurătorile tensometrice au fost făcute în anul 1942. În total au fost prevăzute 9 grupe de lucru dintre care două rozete și șapte stele a câte nouă bucăți tensometre. Lîngă fiecare formă de lucru s-a prevăzut câte un teleformetru de nul, astfel că în total sînt îmbetonate 160 bucăți tensometre.



Modul de amplasare al unei grupe de tensometre în locurile 1,2,3,4,5

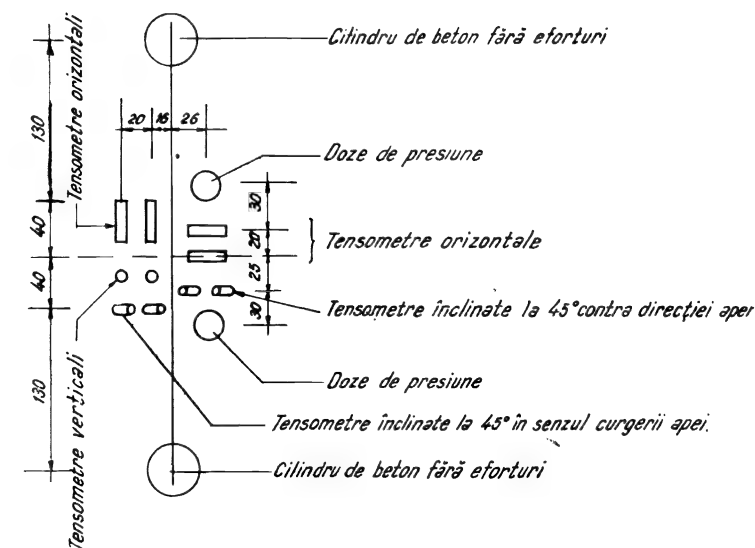


Fig. 114. — Amplasarea formelor de lucru în corpul barajului american Hiwassee.

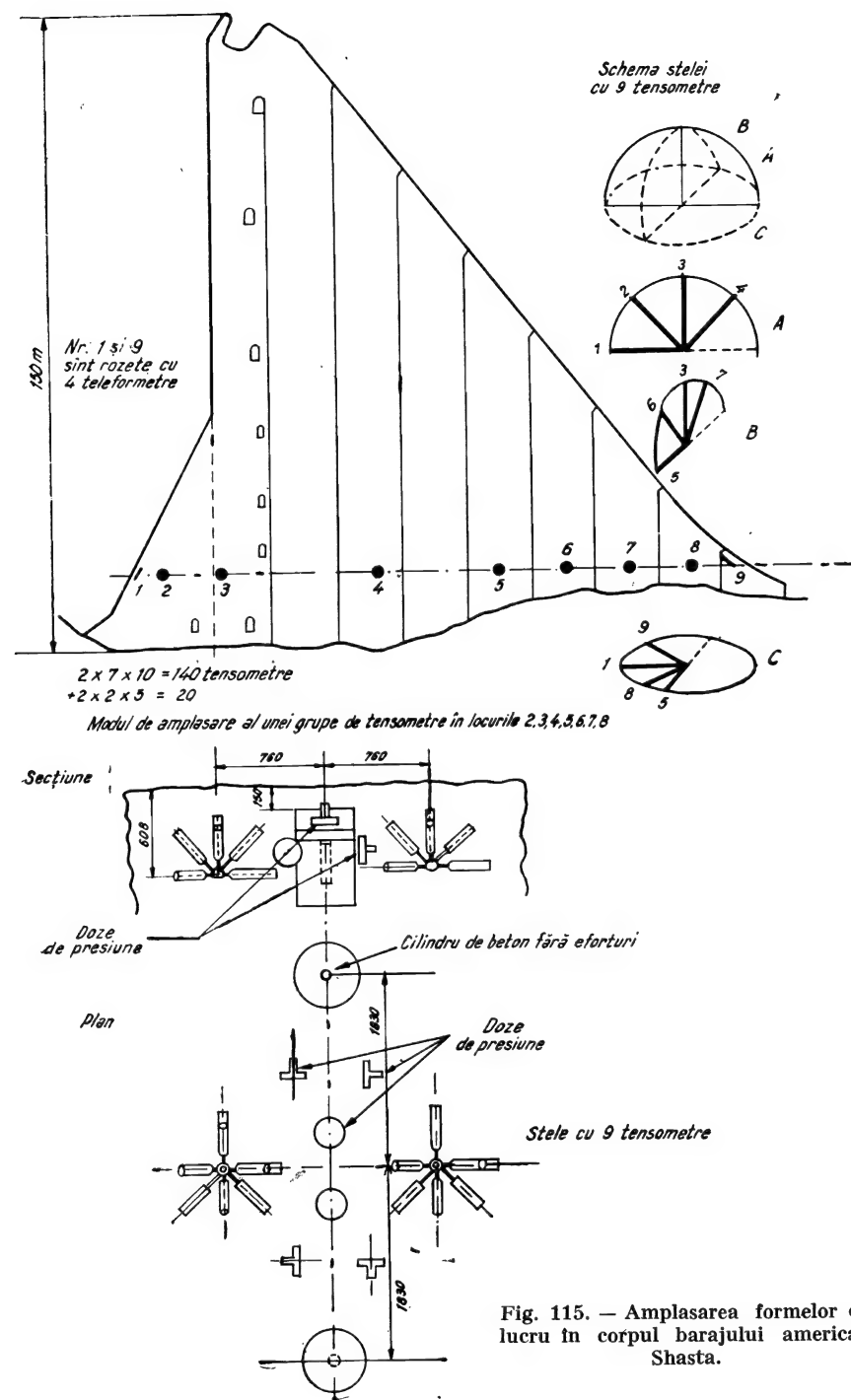


Fig. 115. — Amplasarea formelor de lucru în corpul barajului american Shasta.

§ 12. DETERMINAREA VALORILOR ȘI CONSTANTELOR DE CALCUL NECESARE PENTRU VALORIFICAREA MĂSURĂTORILOR

Rezultatele măsurătorilor nu sînt absolut exacte, dar se apropie de realitate, după posibilitățile de determinare și măsurare și depind de:

- Exactitatea, sensibilitatea și durabilitatea aparatelor folosite.
- Numărul aparatelor folosite.
- Modul de îmbetonare al aparatelor.
- Exactitatea valorilor, necesare determinării deformațiilor și eforturilor interioare (coeficientul termic de dilatare al betonului α_{bet} , coeficientul termic de dilatare al aparatului α_{telef} , constanta lui Poisson μ etc.).

Exactitatea și sensibilitatea aparatelor folosite. Cu ajutorul teleformetrelor de baraj sistem Huggenberger, avem posibilitatea să măsurăm următoarele valori ca limită inferioară.

a) Pentru deformații (ϵ).

— Decada a 4-a a telohmetrului indică variația de rezistență a raportului bobinelor de ordinul $\Delta z = 1 \cdot 10^{-4}$.

— Cifra de etalonare a teleformetrului f care este dilatația corespunzătoare unei variații de rezistență $\Delta z = 0,01\%$.

Pentru teleformetre, cifra de etalonare f este cuprinsă între valorile $3 \cdot 10^{-6} \div 4 \cdot 10^{-6}$.

În acest caz

$$\epsilon = (0,3 - 0,4) \cdot 10^{-5}.$$

Dacă luăm pentru modulul de elasticitate valoarea

$E = 140\,000 \text{ kg/cm}^2$ pentru un beton de vîrstă mai tină, efortul minim măsurat este:

$$\sigma_{\text{min}} = (0,3 - 0,4) \cdot 10^{-5} \times 1,4 \times 10^5 = (0,42 - 0,56) \text{ kg/cm}^2.$$

b) Pentru temperatura (t°).

— Variația rezistenței bobinelor teleformetrelor r pentru 1°C este dat de firma constructoare în valoare de $r \approx 0,200$.

Decada a 4-a a telohmetrului pentru temperaturi indică variații de rezistență $\Delta R = 0,01$.

În acest caz

$$t^\circ = \frac{\Delta R}{r} = \frac{0,01}{0,2} = 0,05^\circ \text{C}.$$

Numărul de aparate folosite. Deoarece nu se pot măsura deformațiile în tot corpul barajului, ceea ce ar necesita foarte multe aparate, se restrînge măsurarea numai la cîteva sau chiar numai la un bloc în care, după presupunerea noastră, ar apare cele mai mari tensiuni. Din rezultatele obținute, deducem starea eforturilor și în restul blocului barajului.

Modul de îmbetonare al aparatelor. Măsurarea blocului se face în cîteva planuri orizontale. Formele de lucru, rozetă sau stea, se așază în fiecare plan pe unul sau mai multe rînduri și în fiecare rînd în cîteva puncte.

Pe cât posibil se caută a se redubla fiecare direcție în așa fel ca în fiecare plan al rozetei sau stelei să fie câte două perechi de aparate formând un unghi de 45° unul în raport cu altul.

Prin aceasta se realizează, după cum s-a spus, un control al deformațiilor măsurate pe baza relației (64), și un coeficient de siguranță în plus în cazul defectării unui aparat.

Alegerea valorilor necesare determinării deformațiilor și eforturilor interioare. Alegerea valorilor necesare pentru stabilirea deformațiilor și eforturilor interioare trebuie făcută cu foarte mare grijă.

1. Coeficientul termic al betonului și al aparatului

Pentru a elimina din măsurători valoarea provenită din neegalitatea de dilatare a betonului și teleformetrului, datorită temperaturii, trebuie să cunoaștem coeficientul termic de dilatare atât al betonului (α_{bet}), cât și al materialului din care este executat aparatul (α_{telef}).

Firma constructoare, care livrează aparatele, garantează coeficientul de dilatare al teleformetrului (α_{telef}) pentru fiecare aparat în valoare de $k \times 10^{-6}$, în care k este o constantă.

Coeficientul termic de dilatare al betonului (α_{bet}) este în funcție de :

- granulometria betonului,
- vechimea cimentului,
- valoarea raportului $\frac{a}{c}$ (apă : ciment),
- calitatea și cantitatea betonului,
- modul de executare al amestecului,
- temperatură,
- umezeală etc.

Precizia coeficientului folosit depinde de măsura în care reușim să determinăm, la măsurătorile de încercare, calitățile betonului.

Pentru aceste considerente se va folosi în practică o valoare medie aflată în urma încercărilor pe probe în laborator.

Probele se vor acomoda condițiilor reale de lucru ale construcției și măsurarea coeficientului de dilatare al betonului se va face la probele care au o vechime de 7 zile, 28 de zile și 90 de zile.

Determinarea coeficientului termic de dilatare intră în cadrul verificărilor de laborator.

2. Coeficientul lui Poisson

O altă mărime necesară valorificării eforturilor interioare este constanta lui Poisson (μ) care se folosește pentru determinarea tensiunilor datorite deformațiilor. În acest caz precizia depinde de măsura în care este acomodată cercetarea din laborator condițiilor adevărate de lucru ale construcției. Determinarea coeficientului Poisson, direct în construcție (fig. XXIII), ne permite de fapt, certitudinea utilizării unei valori precise.

3. Modulul de elasticitate

Dacă betonul folosit este un material omogen și izotrop și putem ține seama de legea lui Hooke, atunci tensiunile sînt funcție directă de deformații

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= E_r \varepsilon_x, \\ \sigma_y &= E_r \varepsilon_y, \\ \sigma_z &= E_r \varepsilon_z. \end{aligned} \right\} \quad (66)$$

Pentru a trece de la deformațiile măsurate în construcții cu teleformetrele, la calculul eforturilor interioare, trebuie să cunoaștem modulul de elasticitate normală, în punctul în care se găsește fiecare grup de teleformetre, în momentul la care se referă măsurarea deformațiilor.

Modulul de elasticitate (E) necesar în calcul este greu de stabilit în mod exact deoarece depinde de mulți factori ca :

- calitatea și vechimea betonului,
- modul de lucru (amestec, turnare, îndesare etc.).
- condițiile de temperatură și umiditate,
- condițiile de întărire, umflare, contracție și curgerea lentă,
- modul de încărcare etc.

Pentru exprimarea în cifre a valorii eforturilor interioare deduse din deformații, nu este important și necesar de a folosi modulul de elasticitate mediu, care este dat de norme și manuale, ci așa numitul modul redus de elasticitate al betonului (E_r) corespunzător unui moment dat, care pe lângă deformațiile elastice și plastice ale betonului indică și trecutul betonului din momentul prelucrării pînă în momentul de cercetare.

Putem obține acest modul redus de elasticitate în trei moduri, dar toate trei sînt numai aproximative :

Prin determinarea în laborator pe epruvete.

Prin măsurarea directă în corpul construcțiilor.

Prin calcul analitic.

Determinarea modulului redus de elasticitate în laborator. Practica obișnuită de determinare a modulului redus de elasticitate al betonului, constă în încercarea unor epruvete mici, de formă cilindrică sau prismatică, și confecționate din betonul turnat în construcție.

Cu ajutorul extensometrelor fixate pe suprafața epruvetelor, determinăm deformațiile probelor de beton, care se încarcă, prin intermediul unei prese de încercări tip laborator, cu sarcini periodice la diferite timpuri.

Ținînd seama de legea lui Hooke, se poate scoate valoarea modulului redus de elasticitate (E_r).

Printre extensometrele cele mai folosite sînt :

- extensometrul sovietic cu sector gradaj M.I.L.
- extensometrul cu microcomparatoare TIM-2.
- extensometrul optico-mecanic (cu oglinzi) Martens.
- extensometrul cu pîrghie Huggenberger etc.

Precizia aparatelor este în limite admisibile. Astfel, cu ajutorul extensometrului cu oglinzi Martens, unei deplasări a razei de 1 mm, îi corespunde o deformare de 0,002 mm.

Dar încercarea epruvetelor de laborator nu poate oglindi distribuția neomogenă și variația în timp a caracteristicilor elastice ale betonului în construcție, deoarece atât rezistența cât și proprietățile elastice ale betonului diferă nu numai pentru diferitele secțiuni ale unei construcții, dar și pentru diferite puncte ale aceleiași secțiuni.

De aceea, folosirea modulului redus de elasticitate, obținut pe baza încercării epruvetelor în laborator, duce la erori mari în calcularea eforturilor interioare.

Determinarea modulului redus de elasticitate în corpul construcțiilor. Valorile aflate pentru modulul redus de elasticitate direct în construcție sînt mai sigure decît cele aflate în laborator.

În tehnica măsurătorilor de deformății se folosesc două metode pentru determinarea modulului de elasticitate în construcție:

- a) Metoda impulsurilor;
- b) Metoda de încercare a unei epruvete în construcție.

a) Metoda impulsurilor (v. cap. III, sub cap. D) este o metodă nouă de cercetare și permite, pe lângă determinarea modulului de elasticitate, și determinarea rezistenței betonului precum și prezența fisurilor. Această metodă se bazează pe relația dintre modulul de elasticitate E și viteza de propagare a undelor longitudinale într-un mediu continuu elastic.

Pentru un mediu nelimitat, relația are forma

$$E = \partial^2 \rho \frac{(1 + \mu)(1 - 2\mu)}{1 - \mu}, \quad (67)$$

unde

E = modulul de elasticitate,
 ∂ = viteza de propagare a undelor longitudinale,
 ρ = densitatea materialului,
 μ = constanta lui Poisson.

Cu această metodă se poate determina valoarea medie a modulului de elasticitate al betonului între două puncte (emittor și receptor).

b) Metoda de încercare a epruvetelor în construcție a fost propusă pentru prima dată de candidatul în științe tehnice P. I. Glujhhe (U. R. S. S.) în anul 1935.

În interiorul masivului de beton cercetat se izolează o epruvetă de eforturile care acționează construcția și se stabilesc în acest caz relațiile dintre eforturi și deformății.

Izolarea epruvetei se face prin intermediul unui tipar metalic căptușit în interior cu un strat de carton asfaltat (strat de bitum sau de cauciuc) de circa 5–6 mm grosime, astfel încît deformățiile atît pe direcție longitudinală cît și pe cea transversală să nu fie împiedicate (fig. XXIII).

Aceste deformății sînt provocate de o sarcină cunoscută ce acționează periodic și sînt înregistrate de teleformetre instalate după direcțiile dorite în interiorul epruvetei.

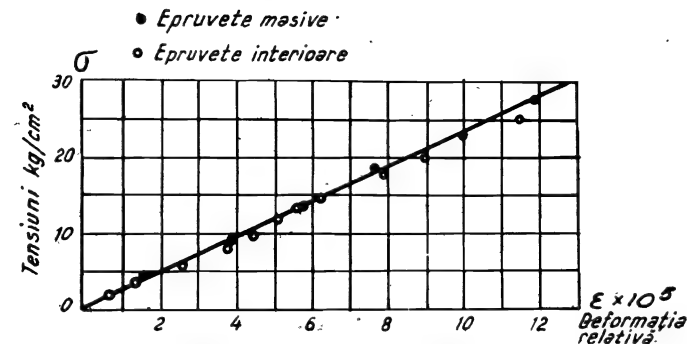


Fig. 116. — Puncte experimentale.

S. I. Eidelman (U.R.S.S.) candidat în științe tehnice, a efectuat o serie de experiențe care au arătat că metoda dă rezultate bune, cu condiția de a se asigura posibilitatea deformăției transversale a epruvetei și a îndesării betonului în epruvetă.

Într-o prismă de beton de 30 × 30 × 60 cm a izolat o epruvetă cilindrică cu diametrul de 10 cm și înălțimea de 30 cm.

Prisma de beton se încarcă cu ajutorul unei prese, iar epruveta mică prin injectarea unui ulei într-un compensator îmbetonat o dată cu epruveta la unul din capetele ei.

Rezultatele obținute sînt date în graficul din figura 116, în care se vede că punctele experimentale ale celor două probe sînt pe aceeași dreaptă, ceea ce înseamnă că relația obținută pentru epruveta mică poate fi adoptată cu suficientă exactitate și pentru betonul înconjurător.

În figura 117 se dă schema aparatului folosit în U.R.S.S. pentru măsurarea în construcție a caracteristicilor de elasticitate și de curgere lentă.

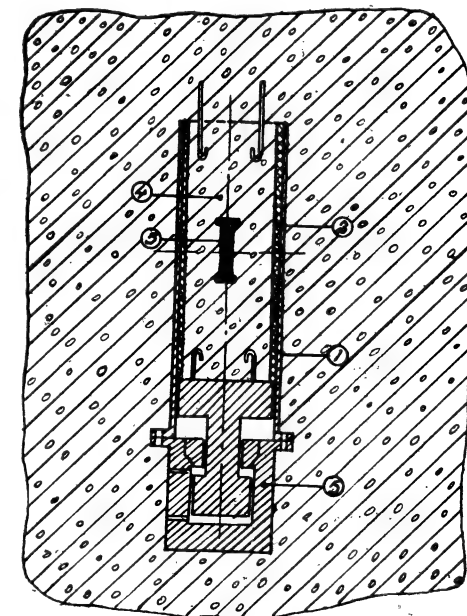


Fig. 117. — Schema aparatului pentru măsurarea în construcție a caracteristicilor de elasticitate și de curgere lentă.

În acest cilindru se fixează teleformetrul 3, spațiile rămase se umplu apoi cu beton 4, concomitent cu turnarea betonului în locul de așezare al formelor de lucru.

Încărcarea epruvetelor se face în funcție de semnul probabil al deformațiilor, cu ajutorul pompei hidraulice 5.

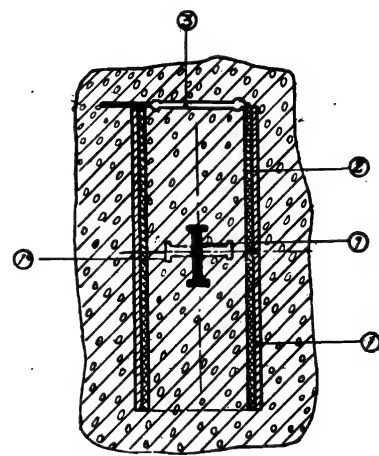


Fig. 118. — Schema de determinare a caracteristicilor de elasticitate și de curgere lentă.

Prin injectarea uleiului printr-o parte sau cealaltă a pistonului, se aplică epruvetei o solicitare de întindere sau de compresiune și în felul acesta se obține modulul de elasticitate al betonului.

Dacă în locul încărcării periodice a epruvetei aplicăm o încărcare permanentă, atunci putem să determinăm caracteristicile plastice ale betonului, adică caracteristicile de curgere lentă.

Când semnul deformațiilor este cunoscut sau se cere, de exemplu, determinarea caracteristicilor elastice și plastice ale betonului la compresiune, atunci se poate folosi instalația din figura 118.

Tiparul metalic 1, căptușit cu un strat de bitum sau carton asfaltat 2, are la unul din capete instalat un compensator 3.

Prin injectarea uleiului în compensator se aplică epruvetei o presiune uniformă, care este înregistrată la un manometru.

În interiorul epruvetei de beton se îmbetonează teleformetrul în poziția I sau I', după direcția la care vrem să aflăm deformația.

Huggenberger recomandă pentru obținerea modulului de elasticitate folosirea unui aparat de tipul celui descris, pe care-l numește elastoverificator (fig. 119).

Tiparul cilindric 1, prevăzut cu cornierele 2 pentru consolidare, izolează de restul mesei de beton epruveta 3, în care s-a îmbetonat teleformetrul 4.

Tiparul este căptușit cu un strat de bitum sau cauciuc 5, în grosime de 5—6 cm.

Pompa de ulei 6, instalată într-o galerie a construcției și acționată de pârghia 7, este legată prin conducta 8 de dispozitivul de presiune 9 ce se află într-o baie de ulei 10 și este mărginit de placa de presiune 11 și de placa de contrapresiune 12.

Conductele 13 și 14 servesc pentru înlocuirea și umplerea cu ulei, al cărui nivel se citește la tubul 15.

Manometrul 16 înregistrează presiunile cu o precizie de 100 kg. Dispozitivul de presiune este construit pentru o presiune de 50 t, astfel că se poate produce o contrapresiune până la 40 kg/cm².

Dimensiunile practice ale tiparului pentru agregate cu fracții până la 80 mm sînt 120 cm pentru înălțime și 40 cm pentru diametru.

Determinarea modulului redus de elasticitate pe cale analitică. Analitic, modulul redus de elasticitate E_r se obține din :

- ecuația de echilibru a forțelor și deformațiilor pe verticală ;
- ecuația de echilibru a forțelor și deformațiilor pe orizontală ;
- ecuația momentelor.

Cu ajutorul a două plane paralele și verticale se taie din blocul barajului o fișie de lățime egală cu unitatea.

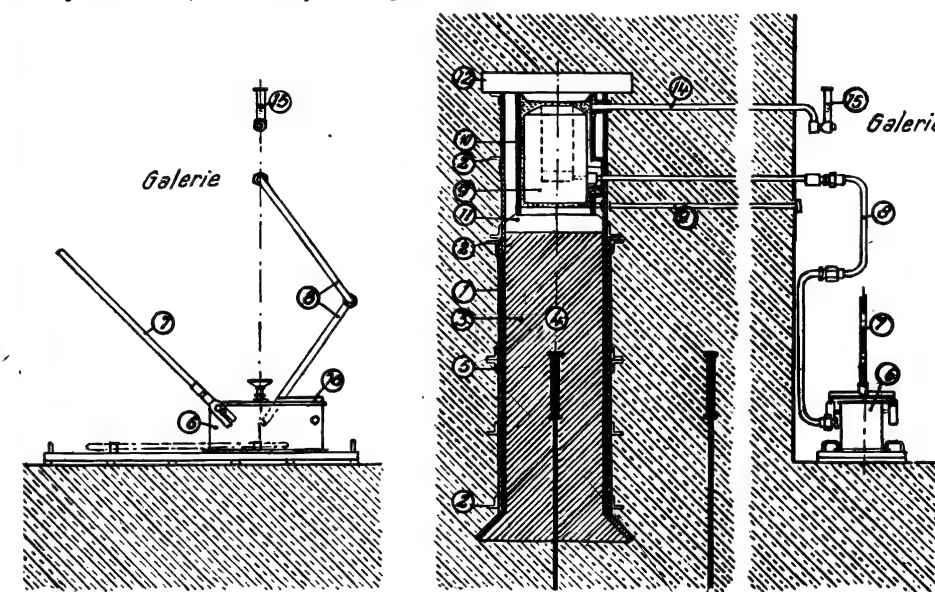


Fig. 119. — Dispozitiv pentru determinarea modulului de elasticitate în masivele de beton (elastoverificator).

La un moment dat, secționarea orizontală a fișiei ce trece prin formele de lucru a aparatelor va fi supusă acțiunii rezultantei forțelor verticale V și forțelor orizontale H aplicate în centrul de greutate al fișiei (fig. 120).

Rezultanta forțelor verticale V trebuie să fie în echilibru cu suma tensiunilor verticale normale în secțiunea considerată

$$V = E_r \sum \epsilon_z = E_r \int_0^b \epsilon_z dy. \quad (68)$$

Dacă notăm

$$F_\epsilon = \int_0^b \epsilon_z dy$$

și înlocuim în (68) obținem

$$E_r = \frac{V}{F_\epsilon}. \quad (69)$$

Atît pentru control, cît și pentru determinarea lui E_r , putem să folosim condiția de echilibru a forțelor pe orizontală și a momentelor. Rezultanta forțelor orizontale H are ca efect reducerea coeficientului

Vedere A-A'

Vedere B-B'

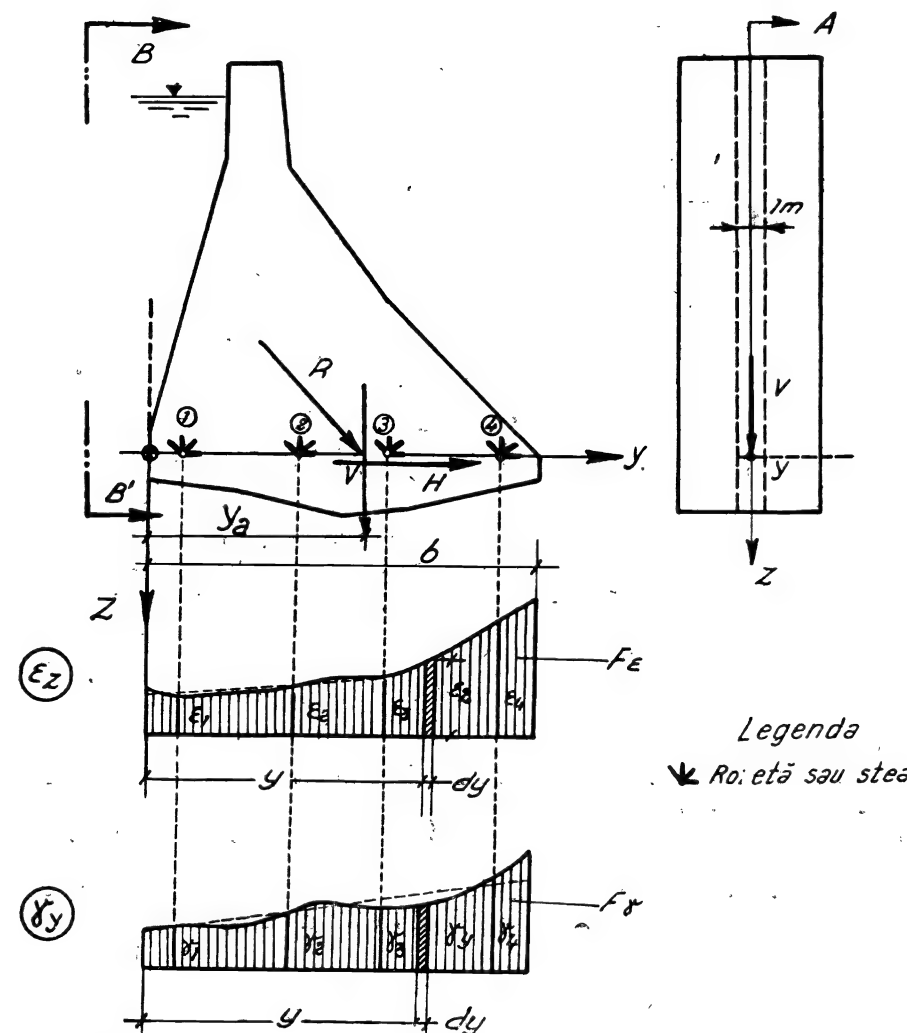


Fig. 120. — Determinarea modului de elasticitate redus E_r prin calcul.

de stabilitate prin alunecare în cazul cînd nu-i îndeplinită condiția impusă de ecuația (70)

$$H = G_r \sum \gamma_{yz} = G_r \int_0^b \gamma_{yz} dy. \quad (70)$$

Dacă notăm

$$\int_0^b \gamma_{yz} dy = F_\gamma \quad \text{și} \quad G_r = \frac{E_r}{2(1+\mu)}$$

și introducem în aceștia (70), obținem ecuația (71)

$$E_r = \frac{2H(1+\mu)}{F_\gamma}. \quad (71)$$

Din ecuația echilibrului momentelor, obținem

$$M_R = E_r M_z = Vy_a \quad (72)$$

și

$$M_z = \int_0^b \epsilon_z y dy. \quad (73)$$

Dacă înlocuim ecuația (73) cu ecuația (72) obținem ecuația

$$E_r = \frac{Vy_a}{\int_0^b \epsilon_z y dy}. \quad (74)$$

Modulul redus de elasticitate, corespunzător unui moment dat, aflat pe cale analitică, poate fi folosit în calcule pe orice direcție vrem. O altă metodă de determinare a modului redus de elasticitate este de a-l determina din săgeata rezultată în urma deformării blocului de beton provenită din presiunea hidrostatică.

§ 13. CALCULUL DEFORMAȚIILOR ȘI EFORTURILOR INTERIOARE

În urma măsurărilor făcute cu telemetrele de baraj sistem Huggenberger, se poate obține variația eforturilor interioare, precum și alura temperaturilor într-un loc dat și la o dată fixă.

Prin simpla măsurare se stabilește cu ajutorul telohmetrului, în cazul cînd comutatorul aparatului indică t , valoarea rezistenței totale R , și în cazul cînd comutatorul indică ϵ , raportul rezistențelor z a celor două bobine R_1 și R_2 din telemetru.

Aceste valori z și R sînt date în ohmi.

Calculul pentru stabilirea eforturilor interioare are următoarea succesiune :

- Stabilirea reală a raportului rezistențelor ohmice.
- Calculul deformațiilor măsurate.
- Eliminarea influenței lungimii conductelor de cablu.
- Eliminarea deformației volumetrice libere.
- Eliminarea deformației datorită curgerii lente.
- Stabilirea stării eforturilor interioare.

1. Stabilirea reală a raportului rezistențelor ohmice

Dacă urmărim modul de funcționare al telohmetrului se observă că în cazul când ramificația galvanometrului este fără curent, adică $i_g = 0$, atunci este valabilă între rezistențe ecuația

$$R_1 \times R_4 = R_2 \times R_z, \quad (75)$$

în care

R_1, R_2 = rezistențele celor două bobine din teleformetru;
 R_4 = rezistența fixă din puntea de măsurare;
 R_z = rezistența reglabilă dată de decadele aparatului.

Dacă notăm raportul rezistențelor R_1 și R_2 cu z , adică $z = \frac{R_1}{R_2}$ și înlocuim în (75) obținem

$$R_z = z R_4 \quad (76)$$

adică rezistența reglabilă R_z măsurată cu puntea Wheatstone este proporțională cu raportul rezistențelor celor două bobine ale teleformetrului. Ecuația (76) poate fi pusă sub forma

$$z = \frac{R_z}{R_4}. \quad (76')$$

Această ecuație permite calculul raportului rezistențelor.

În cazul telohmetrului, $R_4 = 100 \Omega$, astfel că rezistențele citate vor fi împărțite prin 100.

2. Calculul deformațiilor măsurate

Construcția teleformetrului se caracterizează prin aceea că una din rezistențe scade cu atât cu cât cealaltă crește.

Sîrma folosită pentru bobine mai are proprietatea că rezistența ei electrică R variază cu ΔR dacă lungimea ei l crește cu Δl .

Cercetarea a numeroase fire din metal arată că sensibilitatea relativă g a acestor fire satisface ecuația

$$g = \frac{\Phi}{\epsilon} = \frac{\frac{\Delta R}{R}}{\frac{\Delta l}{l}}, \quad (77)$$

în care

$$\Phi = \frac{\Delta R}{R}$$

și

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l}$$

$\frac{\Delta R}{R}$ = variația specifică a rezistenței,

$\frac{\Delta l}{l}$ = alungirea specifică.

Ecuația (77) se poate pune deci sub forma

$$\Delta R = R \cdot g \cdot \epsilon. \quad (77')$$

Rezistența celor două bobine ia deci valoarea $R_1 (1 + g\epsilon)$ și $R_2 (1 - g\epsilon)$, iar pentru variația raportului de rezistență Δz obținem

$$\Delta z = \frac{R_1 (1 + g\epsilon)}{R_2 (1 - g\epsilon)} - \frac{R_1}{R_2}; \quad (78)$$

rezolvînd ecuația (78) obținem

$$\Delta z = 2 g \epsilon \quad (79)$$

în care $2 g$ este o constantă care depinde de cifra caracteristică g , de proprietățile fizice ale sîrmei și de puntea cu care este executată măsurarea. Această constantă se determină prin etalonarea teleformetrelor.

Din ecuația (79) se vede că variația Δz variază proporțional cu dilatarea ϵ .

Deci, deformațiile în direcția aparatului îmbetonat, în raport cu lungimea lui, sînt în funcție de variațiile Δz ale rezistențelor măsurate, adică

$$\epsilon = f \Delta z + C. \quad (80)$$

În această ecuație

$$\Delta z = z_n - z_{n-(n-1)}, \quad (81)$$

în care

z_n = valoarea raportului rezistențelor măsurate pe decadele telohmetrului și împărțite prin R_4 (76');
 z_{n-1} = valoarea menționată mai sus, care se consideră a fi valoarea de bază și în acest caz se presupune a corespunde unei deformații egale cu zero ($\epsilon = 0$);

f = numărul de dilatare a teleformetrului, care corespunde unei variații de rezistențe $\Delta z_i = 1 \times 10^{-4}$ (valoarea este dată în listă pentru fiecare teleformetru în parte).
 Δz = diferența între valorile succesive ale raportului rezistențelor z_n sau diferența între valoarea în momentul dat și valoarea de bază cu care se multiplică numărul de dilatare al teleformetrului f .

Din comparația progresivă cu starea deformațiilor de bază, obținem valoarea absolută a mărimii deformației în momentul dat.

Din comparația cu valoarea precedentă obținem creșterea deformației.
 $C =$ constanta ce indică valoarea diferenței $\Delta\varepsilon$ între dilatările diferite ale betonului și ale materialului din care este executat teleformetrul, ca urmare a neegalității dintre coeficienții de dilatare a ambelor materiale.

Dacă ambele materiale ar avea coeficienții termici de dilatare egali, adică

$$\alpha_{tel} = \alpha_{bet}$$

atunci nu ar fi necesar să se mai considere temperatura, deoarece influența ei se elimină prin construcția aparatului și valoarea constantei ar fi nulă.

În cazul nostru $\alpha_{tel} > \alpha_{bet}$ și deci valoarea constantei este

$$\Delta\varepsilon = \varepsilon_{tel} - \varepsilon_{bet}, \quad (82)$$

în care

$$\begin{cases} \varepsilon_{tel} = \alpha_{tel} \cdot \Delta t, \\ \varepsilon_{bet} = \alpha_{bet} \cdot \Delta t. \end{cases} \quad (83)$$

Înlocuind valorile date de ecuația (83) în ecuația (82), obținem

$$\Delta\varepsilon = (\alpha_{tel} - \alpha_{bet}) \Delta t \quad (84)$$

adică

$$C = - \Delta\varepsilon = - (\alpha_{tel} - \alpha_{bet}) \Delta t, \quad (85)$$

în care

ε_{tel} = alungirea, respectiv scurtarea, aparatului la o diferență de temperatură Δt ,

ε_{bet} = alungirea, respectiv scurtarea, betonului la o diferență de temperatură Δt ,

α_{bet} = coeficientul termic de dilatare al betonului,

α_{tel} = coeficientul termic de dilatare al teleformetrului (valoarea este dată de firma constructoare),

Δt = diferența de temperatură între două măsurători.

Valoarea rezistențelor R_t se stabilește în același timp cu citirea deformațiilor prin schimbarea comutatorului telohmetrului de la indicația ε la t .

Dacă introducem valorile date de ecuația (81) și (85) în ecuația (80), obținem valoarea deformației finale măsurate

$$\varepsilon_f = (z_n - z_{n-(n-1)}) f - (\alpha_{tel} - \alpha_{bet}) \Delta t. \quad (86)$$

Această ecuație ne permite calcularea deformației totale. Acest lucru se datorește faptului că un teleformetru așezat într-un punct oarecare al masivului de beton în momentul betonării acestuia, reacționează la toate deformațiile betonului care sînt legate de variația de temperatură, umiditate și de starea de solicitare a acestuia.

3. Eliminarea influenței lungimii conductelor de cablu.

Conducătorii circuitului de cablu modifică rezistența totală R_t a teleformetrului. Această modificare este în funcție atât de lungimea cablului, cât și de variația temperaturii în lungul circuitului de cablu.

Influența temperaturii se compensează în mod automat prin introducerea unui conductor suplimentar în cablu.

Rezistența acestui conductor \bar{R} se modifică o dată cu variația volumetrică a betonului, lucru ce duce la modificarea dilatării ε citită la telohmetru, care în general este cu atât mai mică cu cât cablul este mai lung.

Pentru corectarea valorii se introduce un coeficient de corecție K care în mod practic crește liniar cu lungimea cablului.

În practică la lungimi de cablu de peste 50 m determinarea coeficientului K se face pe teren pentru fiecare măsurătoare.

Făcînd măsurarea cu conductorul suplimentar o dată conectat și o dată desconectat, se obțin valorile $R_s = R_t + 2 \bar{R}$ și $R_t = R_1 + R_2$, unde valoarea coeficientului de corecție este

$$K = \frac{R_s}{R_t}. \quad (87)$$

Deci practic în cazul conductelor de cablu cu lungimi de peste 50 m ecuația (86) ia forma

$$\varepsilon_f = (z_n - z_{n-(n-1)}) f K - (\alpha_{tel} - \alpha_{bet}) \Delta t. \quad (88)$$

4. Eliminarea deformației volumetrice libere

Prin deformație volumetrică liberă (ε_{vl}) se înțelege deformația provocată de variația de temperatură, de umiditatea betonului etc., în cazul cînd nu există legături care să împiedice variația liberă a dimensiunilor liniare.

În vederea eliminării deformației volumetrice libere, trebuie făcute în prealabil următoarele precizări:

a) Cu ajutorul teleformetrelor de baraj se stabilește suma tuturor deformațiilor ca deformație finală în direcția axei aparatelor de măsurat. Deci indicațiile teleformetrelor, într-un moment oarecare, reprezintă suma deformațiilor elastice și plastice, datorită eforturilor proprii ale betonului și datorită solicitărilor provenite din forțele exterioare care acționează asupra lui.

b) Din aceste deformații, calculate conform indicațiilor date la punctele 1, 2 și 3, nu ne putem da seama care este valoarea deformațiilor elastice, necesare stabilirii variației eforturilor interioare, deoarece deformațiile finale trebuie considerate ca rezultatul final al mai multor influențe: încărcare, temperatură, umiditate, contracție, umflare etc.

Din comparația cu valoarea precedentă obținem creșterea deformației. C = constanta ce indică valoarea diferenței $\Delta\varepsilon$ între dilatările diferite ale betonului și ale materialului din care este executat teleformetrul, ca urmare a neegalității dintre coeficienții de dilatare a ambelor materiale.

Dacă ambele materiale ar avea coeficienții termici de dilatare egali, adică

$$\alpha_{tel} = \alpha_{bet}$$

atunci nu ar fi necesar să se mai considere temperatura, deoarece influența ei se elimină prin construcția aparatului și valoarea constantei ar fi nulă.

În cazul nostru $\alpha_{tel} > \alpha_{bet}$ și deci valoarea constantei este

$$\Delta\varepsilon = \varepsilon_{tel} - \varepsilon_{bet}, \quad (82)$$

în care

$$\begin{cases} \varepsilon_{tel} = \alpha_{tel} \cdot \Delta t, \\ \varepsilon_{bet} = \alpha_{bet} \cdot \Delta t. \end{cases} \quad (83)$$

Înlocuind valorile date de ecuația (83) în ecuația (82), obținem

$$\Delta\varepsilon = (\alpha_{tel} - \alpha_{bet}) \Delta t \quad (84)$$

adică

$$C = -\Delta\varepsilon = -(\alpha_{tel} - \alpha_{bet}) \Delta t, \quad (85)$$

în care

ε_{tel} = alungirea, respectiv scurtarea, aparatului la o diferență de temperatură Δt ,

ε_{bet} = alungirea, respectiv scurtarea, betonului la o diferență de temperatură Δt ,

α_{bet} = coeficientul termic de dilatare al betonului,

α_{tel} = coeficientul termic de dilatare al teleformetrului (valoarea este dată de firma constructoare),

Δt = diferența de temperatură între două măsurători.

Valoarea rezistențelor R_t se stabilește în același timp cu citirea deformațiilor prin schimbarea comutatorului telohmetrului de la indicația ε la t .

Dacă introducem valorile date de ecuația (81) și (85) în ecuația (80), obținem valoarea deformației finale măsurate

$$\varepsilon_f = (z_n - z_{n-(n-1)}) f - (\alpha_{tel} - \alpha_{bet}) \Delta t. \quad (86)$$

Această ecuație ne permite calcularea deformației totale. Acest lucru se datorește faptului că un teleformetru așezat într-un punct oarecare al masivului de beton în momentul betonării acestuia, reacționează la toate deformațiile betonului care sînt legate de variația de temperatură, umiditate și de starea de solicitare a acestuia.

3. Eliminarea influenței lungimii conductelor de cablu.

Conducătorii circuitului de cablu modifică rezistența totală R_t a teleformetrului. Această modificare este în funcție atât de lungimea cablului, cât și de variația temperaturii în lungul circuitului de cablu.

Influența temperaturii se compensează în mod automat prin introducerea unui conductor suplimentar în cablu.

Rezistența acestui conductor \bar{R} se modifică o dată cu variația volumetrică a betonului, lucru ce duce la modificarea dilatării ε citită la telohmetru, care în general este cu atât mai mică cu cât cablul este mai lung.

Pentru corectarea valorii se introduce un coeficient de corecție K care în mod practic crește liniar cu lungimea cablului.

În practică la lungimi de cablu de peste 50 m determinarea coeficientului K se face pe teren pentru fiecare măsurătoare.

Făcînd măsurarea cu conductorul suplimentar o dată conectat și o dată desconectat, se obțin valorile $R_s = R_t + 2\bar{R}$ și $R_t = R_1 + R_2$, unde valoarea coeficientului de corecție este

$$K = \frac{R_s}{R_t}. \quad (87)$$

Deci practic în cazul conductelor de cablu cu lungimi de peste 50 m ecuația (86) ia forma

$$\varepsilon_f = (z_n - z_{n-(n-1)}) f K - (\alpha_{tel} - \alpha_{bet}) \Delta t. \quad (88)$$

4. Eliminarea deformației volumetrice libere

Prin deformație volumetrică liberă (ε_{vl}) se înțelege deformația provocată de variația de temperatură, de umiditatea betonului etc., în cazul cînd nu există legături care să împiedice variația liberă a dimensiunilor liniare.

În vederea eliminării deformației volumetrice libere, trebuie făcute în prealabil următoarele precizări:

a) Cu ajutorul teleformetrelor de baraj se stabilește suma tuturor deformațiilor ca deformație finală în direcția axei aparatelor de măsurat. Deci indicațiile teleformetrelor, într-un moment oarecare, reprezintă suma deformațiilor elastice și plastice, datorită eforturilor proprii ale betonului și datorită solicitărilor provenite din forțele exterioare care acționează asupra lui.

b) Din aceste deformații, calculate conform indicațiilor date la punctele 1, 2 și 3, nu ne putem da seama care este valoarea deformațiilor elastice, necesare stabilirii variației eforturilor interioare, deoarece deformațiile finale trebuie considerate ca rezultatul final al mai multor influențe: încărcare, temperatură, umiditate, contracție, umflare etc.

Încărcarea dă naștere în beton la două feluri de deformații: elastice și plastice. Deformațiile plastice sînt consecința deformării finale a betonului și depind de calitatea și cantitatea betonului, vechimea betonului, mărimea și felul încărcării și timpul în care betonul este supus încărcării. Partea plastică a deformației totale depășește cu mult partea elastică; acest lucru s-a văzut la majoritatea observațiilor îndelungate, efectuate în timpul exploatarei betonului.

Prin determinările teleformetrice noi nu putem decide care parte revine deformațiilor elastice și care celor plastice.

Variația temperaturii provoacă în corpul masivului de beton două feluri de deformații.

1) Deformația volumetrică liberă, în urma căreia nu există o modificare a stării tensiunilor din interiorul betonului.

Acest lucru se petrece atunci cînd betonul cercetat se încălzește sau se răcește proporțional și atunci cînd există un regim permanent de temperatură în beton.

2) Deformații volumetrice, care modifică alura tensiunilor ($\varepsilon_{\nu\sigma}$). Acest lucru se întîmplă în cazul cînd în beton ia naștere un curent de temperatură. Variația tensiunilor are loc și atunci cînd există un regim permanent de temperatură în zona beton-fundație, deoarece în această zonă deformațiile betonului sînt legate de cele ale fundației.

Variația umidității (umflare, contracție) provoacă de asemenea două feluri de deformații:

1) Deformații volumetrice ce pricinuesc modificarea valorii tensiunilor ($\varepsilon_{\nu\sigma}$).

2) Deformații volumetrice libere ce nu pricinuesc schimbarea valorii tensiunilor ($\varepsilon_{\nu l}$).

★

Se știe că deformația datorită curgerii lente și deformațiile datorită variației de temperatură și contracției la uscare ating cu timpul valori ce depășesc de cîteva ori deformația elastică provocată de efortul din beton.

Este clar că nu putem folosi la calculul eforturilor deformația finală (ε_f) măsurată, dacă nu există posibilitatea de a separa din ea partea ei elastică.

În acest scop este necesar să eliminăm din deformația finală măsurată deformația volumetrică liberă și deformația datorită curgerii lente, provocată de efortul care acționează în punctul dat.

Eliminarea deformației volumetrice libere se poate face cu ajutorul teleformetrului de nul.

Prin izolarea unei prisme de beton cu ajutorul unei forme cilindrice (fig. 102) cu pereții dublați, în care s-a îmbetonat un teleformetru normal, numit în acest caz de nul, se creează acestuia posibilitatea de a indica numai deformațiile volumetrice libere, adică acelea ce sînt independente de starea eforturilor.

Prisma de beton este izolată de toate eforturile din jur, deoarece pereții dubli ai cilindrului și fundul nu oferă forțelor care lucrează în beton

nici o reacție, în schimb betonul din cilindru este legat cu betonul din jur și indică aceeași stare de temperatură și umiditate.

Ca urmare a acestui fapt, deformațiile înregistrate de teleformetrul de nul, nu sînt consecința numai a variației temperaturilor, ci și a variației umidității betonului (contracției, umflare etc.).

$$\varepsilon_{\nu l} = \varepsilon_t + \varepsilon_u, \quad (89)$$

în care

ε_t = deformația datorită variației temperaturilor,

ε_u = deformația datorită variației umidității.

Măsurînd cu ajutorul teleformetrului de nul deformația volumetrică liberă $\varepsilon_{\nu l}$ la un moment oarecare t și scăzînd din deformație finală ε_f măsurată în același punct cu ajutorul teleformetrelor din formele de lucru (rozeta sau stea), obținem o deformație funcție de eforturile totale care acționează în acel punct și pe care o numim convențional deformație din efort.

$$\varepsilon_\sigma = \varepsilon_f - \varepsilon_{\nu l}. \quad (90)$$

Ecuatia (90) ne dă posibilitatea de a elimina deformația volumetrică liberă din deformația totală măsurată, pentru a avea alura adevărată a deformațiilor dependente de starea eforturilor.

5. Eliminarea deformației datorită curgerii lente

La stabilirea eforturilor interioare, deformația din efort stabilită cu ecuația (90) nu poate fi folosită deoarece în ea se cuprinde o parte care reprezintă deformația din curgerea lentă.

Această deformație plastică trebuie determinată și separată de deformația elastică.

Pînă în prezent, se cunosc două metode de determinarea deformației datorită curgerii lente:

1) metode de determinare în laborator;

2) metode de determinare în masivul de beton.

1) Metodele de laborator pentru determinarea deformației din curgerea lentă nu sînt indicate a se folosi pentru următoarele motive:

a) epruveta de laborator nu poate avea aceleași condiții de îndesare și de întărire ca epruveta amplasată în masivul de beton;

b) caracteristicile curgerii lente depind de așa-numitul modul al suprafeței, adică de raportul dintre suprafața și volumul epruvetei.

2) Metodele de determinare a deformației provenite din curgerea lentă în interiorul masivului de beton sînt analoage cu cele de determinare a caracteristicilor de elasticitate a betonului (fig. 117, 118, 119 și XXIII), adică și în acest caz, în interiorul masivului de beton se izolează o epruvetă în care s-a îmbetonat un teleformetru prin intermediul unui tipar metalic captușit cu un strat de bitum. Diferența constă în aplicarea sarcinii, care în cazul modulului de elasticitate are un caracter periodic, iar în cazul determinării deformației de curgere lentă are un caracter permanent.

În cazul epruvetei izolate în interiorul masivului de beton, dezavantajele întâlnite la epruveta de laborator sînt excluse pentru că :

- epruveta din interiorul masivului de beton are aceleași condiții de îndesare, întărire, variație de temperatură și umiditate ca și betonul din jurul formelor de lucru;
- umiditatea suprafeței epruvetei este egală cu umiditatea betonului înconjurător, variind o dată cu aceasta, independent de modulul suprafeței;
- diferența dintre deformația din curgere lentă provenită dintr-o solici-

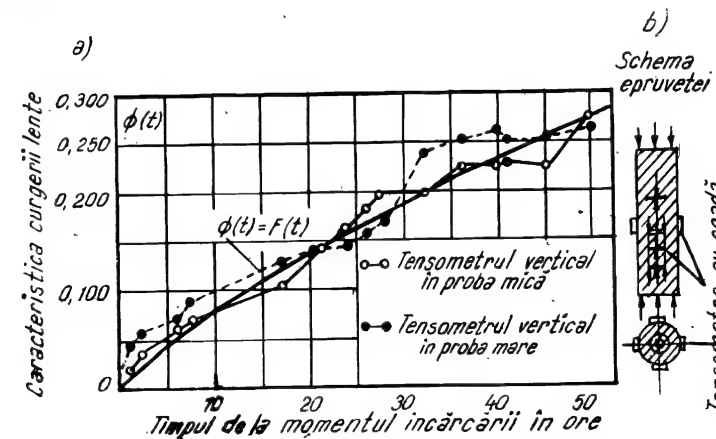


Fig. 121. — Variația în timp a caracteristicilor de curgere lentă la un efort specific constant de compresiune, $\sigma = 40 \text{ kg/cm}^2$.

tare triaxială în masivul de beton și alta axială în epruvete izolate este extrem de mică, încît practic poate fi neglijată.

În Uniunea Sovietică s-au făcut experiențe pentru verificarea posibilității de folosire a epruvetelor izolate în interiorul masivelor de beton, precum și pentru verificarea influenței modulului suprafeței asupra deformației provenită din curgere lentă.

În graficul din figura 121 a se dă variația în timp a caracteristicilor de curgere lentă la un efort constant de compresiune aplicat unei epruvete mari (cu dimensiunile $\varnothing = 40 \text{ cm}$ și $h = 150 \text{ cm}$), în interiorul căruia s-a izolat o epruvetă cilindrică cu diametrul $\varnothing = 15 \text{ cm}$ și înălțimea $h = 45 \text{ cm}$.

Deformațiile au fost înregistrate cu ajutorul tensometrelor electroacustice dispuse pe axa longitudinală : o pereche în epruveta mare, perpendicular unul pe altul și altă pereche în epruveta mică, montate de asemenea perpendicular unul pe altul (fig. 121 b).

Din grafic se vede că caracteristicile de curgere lentă date de cele două tensometre așezate pe axa longitudinală sînt destul de apropiate.

Acest lucru arată folosirea justă a epruvetei izolate în interiorul masivului de beton pentru determinarea deformațiilor provenite din curgere lentă.

Deci, la o epruvetă izolată în interiorul masivului de beton, în care s-au așezat teleformetre atît pe axa lungitudinală cît și pe axa trans-

versală, și supusă la o sarcină permanentă, în urma citirilor se poate calcula valoarea caracteristicii provenite din curgere lentă, cu formula

$$\Phi_{cl} = \frac{|\epsilon_t - \epsilon|}{\epsilon} = \frac{\epsilon_{cl}}{\epsilon}, \quad (91)$$

în care

Φ_{cl} = valoarea caracteristicii provenită din curgere lentă corespunzătoare unui moment dat;
 ϵ_t = deformație la timpul t (în momentul măsurătorii);
 ϵ = deformație elastică în momentul aplicării sarcinii;
 ϵ_{cl} = deformație datorită curgerii lente la timpul t (timpul scurs din momentul încărcării pînă în momentul citirii).

În epruveta din masivul de beton dacă se măsoară în momentul aplicării sarcinii, cu ajutorul teleformetrelor, deformația elastică ϵ în direcția axei longitudinale a epruvetei, deformația $\mu\epsilon$ în direcția axei transversale și se fac periodic citirile teleformetrelor, se obțin deformațiile care se referă la un anumit moment și care constau din componentele pe axa longitudinală și transversală a epruvetei

$$\left. \begin{aligned} \epsilon_x &= \mu\epsilon + \epsilon_{vt} + \mu_t \epsilon_{cl}, \\ \epsilon_y &= \epsilon + \epsilon_{vt} + \epsilon_{cl}, \end{aligned} \right\} \quad (92)$$

în care

ϵ_{vt} = deformația volumetrică a betonului luată în același moment în toate direcțiile;

μ = constanta lui Poisson pentru beton;

μ_t = coeficientul deformației transversale din curgere lentă.

Termenul $\mu_t \epsilon_{cl}$ se poate neglija ca fiind foarte mic și atunci deformația din curgere lentă se determină din indicațiile a două tensometre

$$\epsilon_{cl} = \epsilon_y - \epsilon_x - \epsilon(1 - \mu). \quad (93)$$

După cum s-a văzut pînă aici, rezultă că deformația din efort ϵ_{cl} se compune dintr-o parte elastică ϵ , corespunzătoare unui moment oarecare t , și o parte datorită curegerii lente ϵ_{cl} , corespunzătoare unui timp t ,

$$\epsilon_{cl} = \epsilon + \epsilon_{cl}. \quad (94)$$

Înlocuindu-se valorile date de ecuațiile (90) și (91) în ecuația (94), în urma calculelor se obține

$$\epsilon = \frac{\epsilon_f - \epsilon_{vt}}{1 + \Phi_{cl}}. \quad (95)$$

Aceasta este ecuația ce ne dă partea elastică a deformației totale corespunzătoare unui moment oarecare t și pe care o utilizăm pentru stabilirea eforturilor interioare.

6. Stabilirea stării eforturilor interioare

Pentru determinarea alurei eforturilor interioare, aplicăm teoria elasticității. În acest caz, considerăm că betonul din baraj constituie un corp elastic, omogen și izotrop. Aplicând legea lui Hooke, putem stabili raportul ce există între deformații și eforturi, raport care, în teoria elasticității, se exprimă printr-o ecuație liniară.

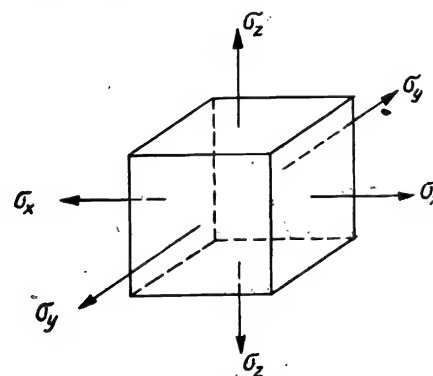


Fig. 122

Dacă presupunem că într-un paralelipiped (fig. 122) cu laturile egale cu unitatea, luat din blocul de beton acționează în direcția axelor de coordonate x, y și z eforturile unitare σ_x, σ_y și σ_z , atunci alungirea specifică ϵ_x pe direcția axei OX , datorită celor trei eforturi va fi

$$\epsilon_x = \epsilon'_x + \epsilon''_x + \epsilon'''_x, \quad (96)$$

în care

$$\epsilon'_x = \frac{\sigma_x}{E}, \quad \epsilon''_x = -\mu \frac{\sigma_y}{E}, \quad \epsilon'''_x = -\mu \frac{\sigma_z}{E}.$$

În mod analog obținem și alungirile în direcția celorlalte două axe. Aplicând principiul suprapunerii efectelor, vom obține alungirea specifică totală pe cele trei axe

$$\left. \begin{aligned} \epsilon_x &= \frac{1}{E} [\sigma_x - \mu (\sigma_y + \sigma_z)], \\ \epsilon_y &= \frac{1}{E} [\sigma_y - \mu (\sigma_x + \sigma_z)], \\ \epsilon_z &= \frac{1}{E} [\sigma_z - \mu (\sigma_x + \sigma_y)], \end{aligned} \right\} \quad (97)$$

în care

σ_x, σ_y și σ_z = eforturile unitare pe cele trei axe de coordonate x, y, z ;
 ϵ_x, ϵ_y și ϵ_z = alungirile specifice în direcția axelor de coordonate;
 μ = coeficientul lui Poisson cu valoarea cuprinsă între 0 și 0,5;
 E = modulul de elasticitate al materialului cercetat.
 Ecuațiile (97) reprezintă legea lui Hooke rezolvată în raport cu deformațiile.

Pentru studiul nostru avem nevoie de aceste relații, însă sub formă inversă, adică rezolvate în raport cu eforturile unitare.

Ecuațiile (97) pot fi considerate că reprezintă trei ecuații cu trei necunoscute; rezolvându-le obținem valorile

$$\sigma_{x, y, z} = F(\epsilon_{x, y, z}),$$

care se pot scrie sub forma

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= \lambda \epsilon_v + 2G \epsilon_x, \\ \sigma_y &= \lambda \epsilon_v + 2G \epsilon_y, \\ \sigma_z &= \lambda \epsilon_v + 2G \epsilon_z, \end{aligned} \right\} \quad (98)$$

în care

$$\lambda = \frac{E\mu}{(1+\mu)(1-2\mu)}, \quad G = \frac{E}{2(1+\mu)}, \quad \epsilon_v = \epsilon_x + \epsilon_y + \epsilon_z$$

[λ și G sînt constantele lui Lamé care, împreună cu E (modulul de elasticitate), caracterizează pe deplin proprietățile elastice ale corpului solid].

În calculele tehnice de multe ori se cere studierea problemei rezistențelor bidimensionale; acestei forme de studiu îi corespunde forma de lucru în rozetă.

În cazul problemei bidimensionale, se disting două cazuri:
 - cazul stării de efort plană, cînd eforturile interioare sînt

$$\sigma_x \neq 0, \sigma_y = 0, \sigma_z = 0. \quad (99)$$

La această stare de eforturi, deformațiile relative corespunzătoare sînt

$$\epsilon_x \neq 0, \epsilon_y \neq 0, \epsilon_z = 0, \quad (100)$$

în care

$$\left. \begin{aligned} \epsilon_x &= \frac{1}{E} (\sigma_x - \mu \sigma_y), \\ \epsilon_y &= -\frac{\mu}{E} (\sigma_x + \sigma_y), \\ \epsilon_z &= \frac{1}{E} (\sigma_x - \mu \sigma_y). \end{aligned} \right\} \quad (101)$$

Ecuațiile (101) rezolvate în raport cu eforturile unitare devin

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= \frac{E(\epsilon_x + \mu \epsilon_y)}{1 - \mu^2}, \\ \sigma_y &= 0, \\ \sigma_z &= \frac{E(\epsilon_x + \mu \epsilon_y)}{1 - \mu^2}, \end{aligned} \right\} \quad (102)$$

- cazul stării deformate plane, sau cazul deformării plane, pentru care eforturile interioare sînt

$$\sigma_x \neq 0, \sigma_y \neq 0, \sigma_z = 0, \quad (103)$$

La această stare de eforturi deformările relative după direcția axelor sînt

$$\varepsilon_x \neq 0, \varepsilon_y = 0, \varepsilon_z \neq 0. \quad (104)$$

Acest lucru se petrece atunci cînd masivul de beton considerat are o mare dimensiune într-o direcție (fig. 123)

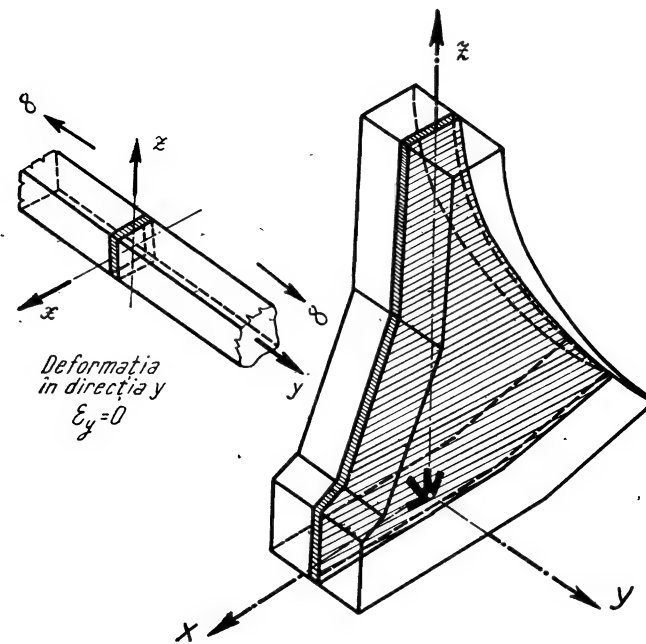


Fig. 123. — Starea deformată plană.

Din condițiile (104) reiese că pentru deformarea plană este îndeplinită condiția

$$\varepsilon_y = \frac{1}{E} [\sigma_y - \mu(\sigma_z + \sigma_x)] = 0, \text{ de unde rezultă ecuația} \quad (105)$$

$$\sigma_y = \mu(\sigma_z + \sigma_x)$$

Componentele deformăției se calculează după expresiile

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_x &= \frac{1+\mu}{E} [(1-\mu)\sigma_x - \mu\sigma_z], \\ \varepsilon_y &= 0, \\ \varepsilon_z &= \frac{1+\mu}{E} [(1-\mu)\sigma_z - \mu\sigma_x]. \end{aligned} \right\} \quad (106)$$

Rezolvînd ecuațiile (106) în raport cu σ_x și σ_z și înlocuind

$$\frac{\lambda}{\mu} = \frac{E}{(1+\mu)(1-2\mu)} \text{ se obțin ecuațiile} \quad (107)$$

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= \frac{\lambda}{\mu} [\varepsilon_x - \mu(\varepsilon_x - \varepsilon_z)], \\ \sigma_y &= \mu(\sigma_z + \sigma_x), \\ \sigma_z &= \frac{\lambda}{\mu} [\varepsilon_z - \mu(\varepsilon_z - \varepsilon_x)]. \end{aligned} \right\}$$

care ne dau valorile eforturilor interioare în acest caz.

Se va ține seama ca ε_x , ε_y și ε_z să reprezinte numai deformările elas-

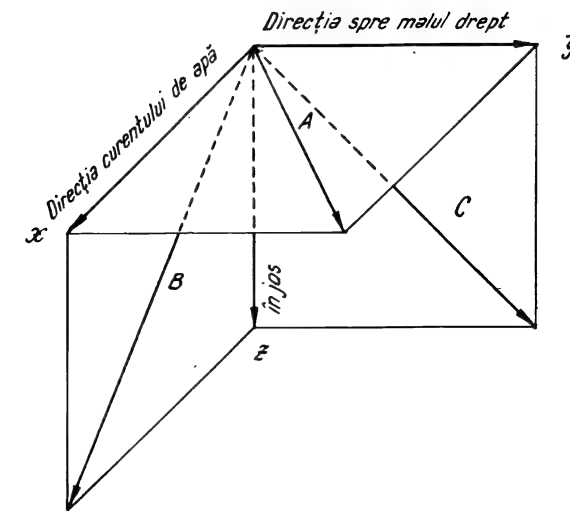


Fig. 124. — Schema spațială de amplasare a formelor de lucru.

tice dependente de variația eforturilor interioare, adică numai după ce valorile măsurate au fost corectate cu formula (95).

Modulul de elasticitate E se va înlocui cu modulul redus de elasticitate E_r corespunzător unui moment dat.

Dacă în ecuațiile (98) se introduce valorile lui λ , ε_y și G , atunci ecuațiile se pot scrie

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= E \left[\frac{\varepsilon_x}{1+\mu} + \frac{\mu(\varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z)}{(1+\mu)(1-2\mu)} \right], \\ \sigma_y &= E \left[\frac{\varepsilon_y}{1+\mu} + \frac{\mu(\varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z)}{(1+\mu)(1-2\mu)} \right], \\ \sigma_z &= E \left[\frac{\varepsilon_z}{1+\mu} + \frac{\mu(\varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z)}{(1+\mu)(1-2\mu)} \right]. \end{aligned} \right\} \quad (108)$$

Ținând seama de figura 124 în care se dă schema spațială de amplasare a formelor de lucru și cunoscând deformațiile pe direcțiile A , B și C pe care direcții avem instalate tensometre, prin analogie vom avea ecuațiile

$$\left. \begin{aligned} \sigma_a &= E \left[\frac{\varepsilon_a}{1+\mu} + \frac{\mu(\varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z)}{(1+\mu)(1-2\mu)} \right], \\ \sigma_b &= E \left[\frac{\varepsilon_b}{1+\mu} + \frac{\mu(\varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z)}{(1+\mu)(1-2\mu)} \right], \\ \sigma_c &= E \left[\frac{\varepsilon_c}{1+\mu} + \frac{\mu(\varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z)}{(1+\mu)(1-2\mu)} \right]. \end{aligned} \right\} \quad (109)$$

Având în vedere ecuațiile (108) și (109) și ținând seama de teoria elasticității, valorile eforturilor tăietoare vor fi date de ecuațiile

$$\left. \begin{aligned} \tau_{xy} &= -\frac{1}{2}(\sigma_x + \sigma_y) + \sigma_a = \tau_{yx} = \tau_z, \\ \tau_{yz} &= -\frac{1}{2}(\sigma_y + \sigma_z) + \sigma_b = \tau_{zy} = \tau_a, \\ \tau_{xz} &= -\frac{1}{2}(\sigma_x + \sigma_z) + \sigma_c = \tau_{zx} = \tau_y. \end{aligned} \right\} \quad (110)$$

Cu aceste valori se poate trece apoi la orice calcul avem nevoie, pentru a da interpretarea exactă a deformațiilor ce au avut loc.

C. MĂSURAREA DIRECTĂ A EFORTURILOR ȘI PRESIUNII TERENULUI

§ 14. GENERALITĂȚI

După cum s-a văzut cu ajutorul teleformetrelor stabilim numai deformațiile, iar pentru obținerea eforturilor trebuie să întreprindem calcule destul de anevoioase. De aceea posibilitatea de a se determina direct tensiunile este de o mare importanță.

Greutatea construirii unor aparate care să facă posibile aceste determinări este datorită în primul rând că aparatele îmbetonate cauzează, în anumite condiții, o deranjare a cîmpului, fapt care duce la erori mari ale valorilor citite.

De aceea aparatele trebuie să fie executate astfel, încît capacitatea lor de deformare să corespundă precis modului de deformare total al betonului. În felul acesta se evită, de exemplu, concentrarea eforturilor care se produc, cu siguranță, pe capacul cutiei, dacă aparatul folosit va fi prea dur față de betonul înconjurător.

O soluție ar fi utilizarea aparatelor corespunzătoare la diferite module de elasticitate ale betonului.

Pînă în prezent, aplicabilitatea cea mai mare a acestor aparate este în planul de fundație al construcțiilor, unde servesc la măsurarea presiunii terenului.

Printr-o repartizare judicioasă a aparatelor în planul fundațiilor se pot obține indicații asupra modului cum încărcările sînt transmise sub acțiunea greutății proprii, atît în perioada de construire a lucrării respective, cît și în procesul de exploatare.

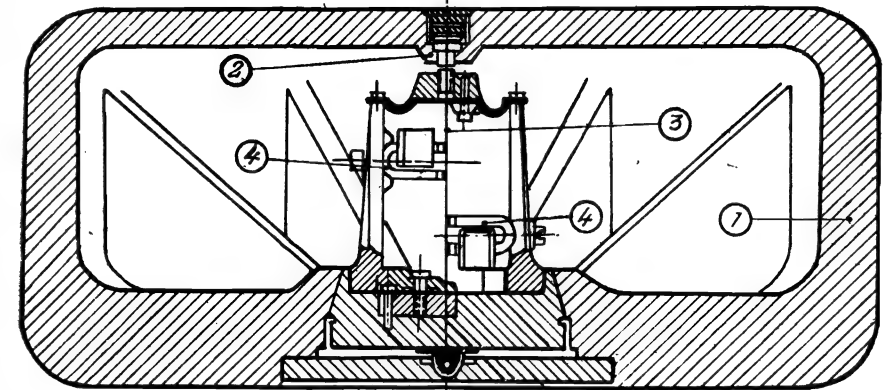


Fig. 125. — Dinamometrul acustic.

Pentru acest scop au apărut aparate bazate pe :

- principiul coardelor vibrante;
- principiul pîrghiilor;
- principiul rezistenței electrice.

§ 15. APARATE BAZATE PE PRINCIPIUL COARDELOR VIBRANTE

1. Dinamometrul acustic

Dinamometrul acustic tip N.N. Davidfenkov (fig. 125) se folosește pentru măsurarea rezistențelor și presiunii terenului.

Aparatul se compune dintr-o cutie metalică rotundă 1 în al cărei capac este prevăzută o membrană 2 de fundul cutiei și de mijlocul membranei sînt prinse capetele unei coarde de oțel 3. Prin intermediul electromagnetilor 4 coarda este pusă în stare de vibrație.

Încovoierea membranei se observă prin variația lungimii coardei.

2. Dozele Maihak

Dozele Maihak (fig. 126 a, b, c) sînt construite tot pe principiul coardelor vibrante. Aceste aparate se folosesc numai pentru măsurarea presiunii terenurilor.

Principiul de măsurare al dozei Maihak este următorul: presiunea de măsurat se transmite pe o grindă de încovoiere 1 a cărei deformare se transmite apoi la coarda de măsurare 2, care își schimbă lungimea.

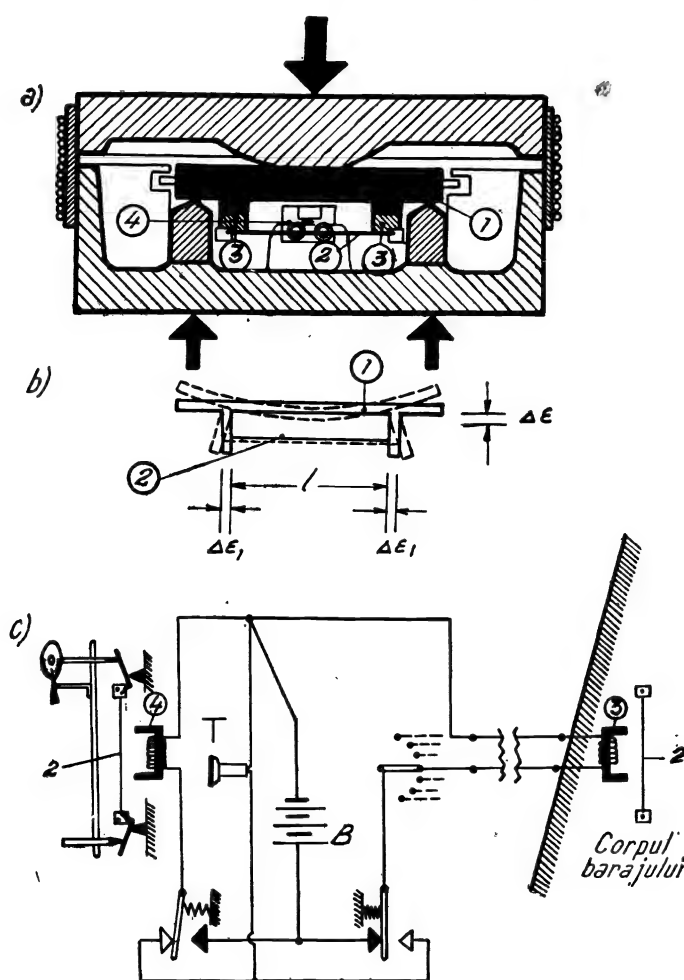


Fig. 126. — Schema de lucru a dozei Maihak pentru determinarea presiunilor.

Coarda este fixată în punctele de rezim 3. Vibrațiile coardei sînt datorite magnetului 4. Variația lungimii coardei schimbă numărul de vibrații, care se poate afla cu ajutorul unui aparat receptor prevăzut cu o coardă de etalonare după schema din figura 126 c.

Etalonarea aparatului este făcută astfel încît citirea se face direct în kg/cm^2 .

§ 16. APARATE BAZATE PE PRINCIPIUL PÎRGHIILOR

1. Dinamometrul cu indicator

Dinamometrul cu indicator (fig. 127) servește pentru măsurarea eforturilor în stîlpii sprijinirilor de lemn din săpăturile subterane (tunele, galerii etc.). Aparatul se compune dintr-o cutie cilindrică 1, cu diametrul de 20 cm la partea superioară este prevăzută cu o diafragmă 2 din oțel, de 2,5 cm grosime și care are în centru o adîncitură 3. Peste diafragmă se așază un disc de oțel 4, prevăzut în centru cu o proeminență 5 și articulat de diafragmă.

Dispozitivul de măsurare este format dintr-un tub 6 lung de circa 30 cm și terminat la capăt printr-un indicator 7.

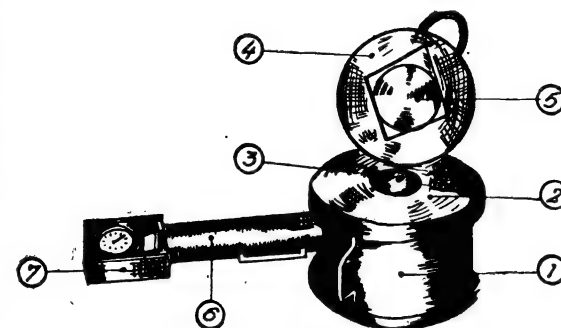


Fig. 127. — Dinamometrul cu indicator.

Acest dispozitiv este demontabil și se folosește la mai multe dinamometre. Deformațiile diafragmei sînt transmise, printr-un sistem de pîrghie cotită, indicatorului 7, unde se face citirea.

În timpul montării, stîlpul al cărui efort datorit presiunii litostatice vrem să îl determinăm, se reazemă pe discul de oțel care, prin intermediul proeminenței, transmite deformația diafragmei; aceasta, la rîndul ei, primește o săgeată, care — prin intermediul pîrghiilor — este transmisă aparatului indicator.

§ 17. APARATE BAZATE PE PRINCIPIUL REZISTENȚEI ELECTRICE

1. Telepresmetrul Carlson-Huggenberger

În figura 128 este dată o secțiune transversală prin telepresmetru. Aparatul se compune din două plăci circulare 1 și 2, care închid între ele un spațiu 3 de 0,1 mm grosime umplut cu mercur. Presiunea care se exercită asupra plăcilor circulare, prin stratul de mercur, acționează asupra membranei 4 care, fiind elastică, se deplasează se (boltește) direct proporțional cu presiunea mercurului.

Această boltire este înregistrată de un teleformetru mic, care are brațul 5 înșurubat în membrana 4, iar brațul 6 se reazemă pe capul filetat 7 și pe prelungirile 8.

Aparatul mai este prevăzut cu o tijă cilindrică, protejată cu o rețea 9; marginile plăcilor sînt de asemenea protejate printr-o rețea 9 împotriva

lipirii cu beton. Legătura cu stația de măsurare se face prin cablul 10. Caracteristicile aparatului sînt următoarele:

- suprafața activă 250 cm²
- diametrul discurilor 187 mm
- lungimea tijei cilindrice 115 mm
- diametrul tijei 26 mm.
- grosimea celor două discuri 10 mm.

Domeniul de măsurare pentru presiune este pînă la 75 kg/cm², iar pentru temperatură de la -20°C la +65°C (v. fig. XXIV).

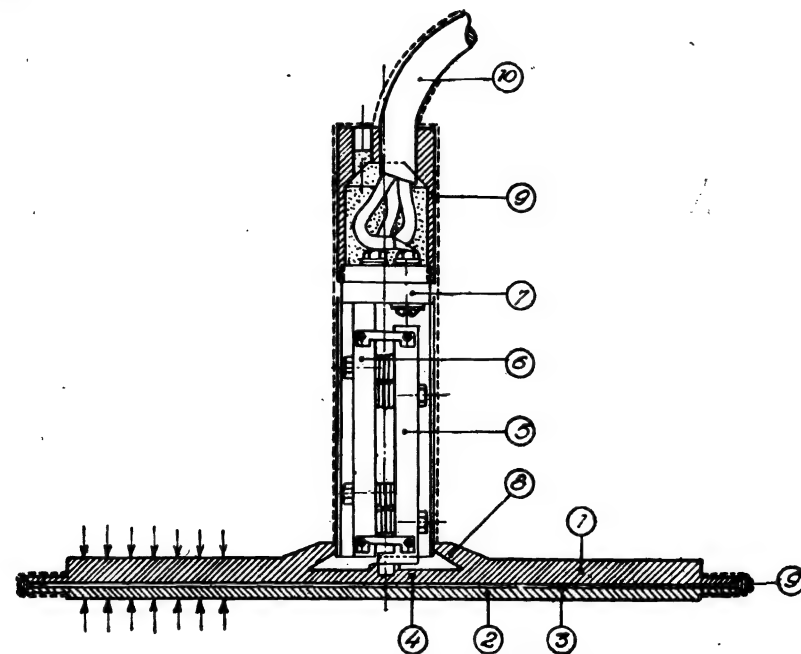


Fig. 128. - Secțiune transversală prin telepresmetrul Carlson-Huggenberger.

Precizia pentru presiune este de 0,3 kg/cm², pentru temperatură de $\pm 0,3^\circ\text{C}$.

Fiecare aparat livrat este însoțit de un certificat de etalonare. Caracteristicile date în certificat sînt următoarele:

R_0 — rezistența în Ω la 0°C a aparatului;

r — variația rezistenței pentru 1°C ;

p — modificarea presiunii în kg/cm² corespunzătoare variației raportului rezistențelor $\Delta z = 1 \cdot 10^{-4}$.

Valoarea presiunii este dată de formula

$$P = \frac{\Delta z \cdot p}{1 \cdot 10^{-4}} \quad (111)$$

în care $\Delta z = z_n - z_{n-(n-1)}$ este diferența citirilor făcute la telohmetru. Valoarea temperaturilor din beton se calculează conform ecuației (48) din citirile făcute la telohmetru cînd comutatorul se găsește pe poziția t . Înregistrarea datelor se face în stația definitivă de măsurători, cu ajutorul telohmetrului.

Verificarea telepresmetrului se face în laborator la o presă de încercare a probelor la tracțiune-compresiune.

Pe platanul inferior al mașinii de verificare se pune telepresmetrul peste un strat de ghips, pentru a avea aceeași tărie a suprafeței de sprijin

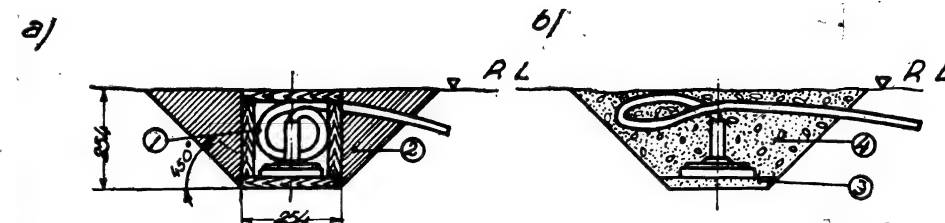


Fig. 129. - Îmbetonarea telepresmetrelor.

ca în beton. Peste discul superior al aparatului se află un corp rotund de lemn, prevăzut cu un orificiu pentru trecerea cablului.

Aparatul se conectează la un telohmetru și prin încărcări și descărcări succesive se înregistrează raportul rezistențelor Δz . La un manometru se citește valoarea presiunii folosite.

Prin această încercare se verifică dacă aparatul funcționează bine și dacă presiunile produse de presa de încercare sînt redade corect. La verificarea etalonării termice se folosește o baie de apă ca la teleformetru.

Indicațiile corecte ale aparatului depind de construcția lui și de felul îngrijit al montării.

La îmbetonarea telepresmetrelor se ține seama de poziția pe care o ocupă aparatul.

În cazul cînd vrem să îmbetonăm telepresmetrul în poziția orizontală, punem aparatul într-un cofraj de lemn 1 de formă cubică, cu latura de circa 25 cm (fig. 129 a).

Cofrajul se așază în lamela de beton, proaspăt turnată, astfel ca muchea superioară a cofrajului să corespundă cu înălțimea rostului de lucru (RL).

După ce betonul s-a turnat, se sapă în jurul cofrajului o groapă 2 și se scoate afară cofrajul.

După 24 de ore se curăță suprafața gropii cu un suflaj de nisip și se acoperă cu un strat de mortar 3, de circa 6 cm grosime.

Cu o mișcare de legănare, în stratul de mortar se așază telepresmetrul. După circa 3-4 ore, cînd mortarul s-a întărit, se închide groapa de beton 4 (fig. 129 b).

În cazul cînd aparatul se așază în poziție verticală, acest procedeu nu este necesar, deoarece nu există pericolul de formare a pungilor de aer între talpa aparatului și beton.

În timpul îmbetonării trebuie observate o serie de reguli. Astfel :
 — betonul trebuie să se afe în contact cu toată suprafața discurilor, care să nu fie deranjată prin goluri cu aer, punți de apă și variații de temperatură;

— aparatele trebuie plasate pe cât posibil în apropierea rosturilor de lucru, unde există o compensație mai rapidă de temperatură decât în straturile de jos coeficientul termic de dilatare al materialului telepresmetrului (α_{telep}) este sensibil mai mare decât al betonului, deci discurile se dilată mai mult și ca urmare presiunea rezultată falsifică valoarea presiunii reale din beton;

— înainte de folosirea telepresmetrului pentru măsurarea presiunii terenului, trebuie să se niveleze mai întâi suprafața rocii; aparatul se va pune apoi pe o turtă de mortar și se lucrează conform metodei descrise la îmbetonarea telepresmetrelor;

— betonarea lamelor următoare trebuie începută atât timp cât betonul de pe locul de amplasare este încă proaspăt.

D. SUPERSONICA

§ 18. GENERALITĂȚI

În prezent se obișnuiește a se înțelege prin :

— ultrasunete — oscilațiile elastice cu frecvența cuprinsă între 20 kHz și 1000 MHz (10^9 Hz);

— hipersunete — oscilațiile cu frecvența peste 10^9 Hz;

— infrasunete — oscilațiile cu frecvența mai mică de 20 Hz.

Ramura științifică care studiază fenomenele din acest domeniu se numește supersonică.

În studiul de față ne vom ocupa în mod special de ultrasunete, care în ultimul timp au găsit o largă aplicație în diferite ramuri de activitate.

Larga aplicabilitate a ultrasunetelor se explică atât prin faptul că au frecvență înaltă, cât și prin faptul că pot ajunge la foarte mari intensități.

Metodele cunoscute pentru obținerea ultrasunetelor pot fi împărțite în :

Metode mecanice (generatorul Holzmann, sirena ultrasonoră etc.)

Metode piezoelectrice (generatorul cu piezocuart, sarea Seignette, tetanat de bariu etc.).

Metode magnetostrictive (generatorul magnetostrictiv etc.).

Ultrasunetele oferă posibilitatea de a afla unele proprietăți ale diferitelor substanțe, atât în starea solidă cât și în cea lichidă sau gazoasă.

Metoda se bazează pe faptul că ultrasunetele sunt absorbite slab în corpurile solide, iar la suprafața de separație a solidului cu aerul se reflectă complet. Acesta a fost punctul de plecare pentru controlul construcțiilor, mai ales în ceea ce privește neomogenitatea.

În corpurile solide cercetările se fac pentru determinarea vitezei și absorbției ultrasunetului în corpul de probă studiat.

§ 19. DEZVOLTAREA SUPERSONICEI ÎN UNIUNEA SOVIETICĂ

În literatura sovietică de specialitate au apărut numeroase descrieri ale diferitelor aparate ultrasonore, precum și ale procedeele de cercetare a materialelor și construcțiilor cu ajutorul metodelor supersonice.

În anul 1927 prof. S. I. Sokolov a descoperit capacitatea oscilațiilor ultrasonore de a pătrunde prin metale, iar în anul 1928 a creat primul model de defectoscop ultrasonor.

Defectoscopul are ca scop descoperirea și cercetarea defectelor în piesele metalice.

În anul 1938 prof. S. N. Rjevkin și S. I. Krecimer au publicat rezultatele cercetărilor privind propagarea ultrasunetului în diferite medii.

Folosirea impulsurilor scurte și a noii tehnici electronice a dus la crearea microscopului ultrasonor, elaborat de prof. S. I. Sokolov în 1936.

Aceste microscopie ultrasonore au fost premiate în 1950 cu premiul Stalin.

Institutul de cercetări științifice de fizică al Universității de Stat din Moscova a publicat o serie de rezultate obținute în domeniul supersonice.

În prezent, acest Institut, împreună cu Laboratorul central de cercetări științifice experimentale al Ministerului stațiunilor electrice și cu Institutul de construcții al Missovietului au început lucrările pentru crearea unor instalații portative ultrasonore de cimp, perfecționare pentru controlul calității betonului în construcții, precum și pentru verificarea și compararea rezultatelor obținute prin metode supersonice.

§ 20. TEORIA UNDELOR

Procesul de propagare a oscilațiilor într-un mediu se numește undă.

La propagarea oscilațiilor, particulele care oscilează nu se deplasează o dată cu procesul oscilatoriu, ele oscilind în jurul pozițiilor lor de echilibru. Dacă particulele oscilează pe direcția de propagare a oscilațiilor, unda se numește longitudinală, iar dacă oscilațiile particulelor sunt perpendiculare pe direcția de propagare a oscilațiilor, unda se numește transversală.

Dacă undele, care se răspîndesc în mediu sunt transversale sau longitudinale, aceasta depinde de proprietățile elastice ale mediului.

În general, la corpurile solide se nasc forțe elastice care tind să readucă stratul deplasat în poziția de echilibru. În acest caz undele sunt transversale. Dacă în mediu apar forțe de elasticitate la deformare prin tensiune sau compresiune undele sunt longitudinale. La o undă este interesant de cunoscut viteza sa de propagare, care depinde de numărul de frecvențe și de lungimea undei.

În figura 130 sînt date o serie de puncte care se găsesc la distanța λ unul de altul. Rezultă deci clar că lungimea de undă reprezintă distanța cea mai mică între punctele care oscilează în faze egale.

Prin viteza de propagare a undelor longitudinale ultrasonore se înțelege viteza de propagare a fazei de oscilație. În acest caz

$$\Phi = \frac{\lambda}{T} = \lambda f, \quad (112)$$

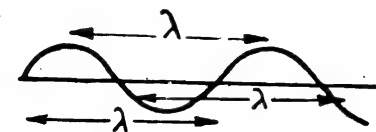


Fig. 130. — Lungimea undei λ .

în care
 Φ = viteza de propagare a ultrasunetului,
 λ = lungimea undei,
 T = perioada ($T = \frac{1}{f}$),
 f = frecvența.

Între viteza de propagare a undelor longitudinale ultrasonore și modulul de elasticitate al materialului există relațiile

$$\left. \begin{aligned} \Phi &= \sqrt{\frac{E}{\rho}} \text{ (valabil pentru bare și grinzi),} \\ \Phi &= \sqrt{\frac{E}{\rho(1-\mu)}} \text{ (valabilă pentru plăci),} \\ \Phi &= \sqrt{\frac{1-\mu}{(1+\mu)(1-2\mu)}} \cdot \frac{E}{\rho} \text{ (valabilă pentru medii nelimitate),} \end{aligned} \right\} \quad (113)$$

în care

E = modulul de elasticitate,

ρ = densitatea mediului de propagare,

μ = coeficientul lui Poisson egal cu 0,15 pentru beton.

Complexitatea formulei pentru un mediu nelimitat se explică prin faptul că fiecare element al volumului suferă, în același timp, tensiuni sau compresiuni laterale din partea elementelor de volum vecine.

Viteza de propagare a undelor transversale ultrasonore depinde de modulul de elasticitate transversal după relația

$$\Phi_1 = \sqrt{\frac{G}{\rho}}, \quad (114)$$

în care

Φ_1 = viteza de propagare a ultrasunetului,

G = modulul de elasticitate transversal,

ρ = densitatea mediului de propagare.

§ 21. METODE SUPERSONICE DE CERCETARE A PROPRIETĂȚILOR ELASTICE ALE BETONULUI

În principiu toate aceste metode sînt bazate pe faptul că oscilațiile elastice, și deci și oscilațiile ultrasonore, trecînd printr-un corp solid, îi provoacă diferite deformări.

Aceste deformări sînt de patru feluri (fig. 131 *a, b, c* și *d*): deformări longitudinale, provenite din unde longitudinale (fig. 131 *a*); deformări transversale, provenite din unde transversale care se propagă aproape întotdeauna în același timp cu undele longitudinale (fig. 131 *b*); deformări din încovoieră, care sînt deformările cele mai des întîlnite (fig. 131 *c*); deformări de forfecare, care însoțesc adesea deformările din încovoieră (fig. 131 *d*).

Pînă în prezent se cunosc patru metode de cercetare sonoră și ultrasonoră a materialelor de construcții; acestea sînt:

— Metoda determinării modulului de elasticitate dinamic prin frecvența de rezonanță a oscilațiilor de încovoieră a barelor.

— Metoda determinării caracteristicilor elastice și a defectelor betonului cu ajutorul oscilațiilor longitudinale.

— Metode optice.

— Metode prin impulsuri.

Prima metodă are marea neajuns că este neaplicabilă pentru betonul întărit, iar a doua este aplicabilă numai pentru cercetarea pieselor simple, nelegate cu construcția înconjurătoare. Datorită acestor neajunsuri, aplicabilitatea acestor două metode a fost mult limitată.

Metoda optică constă în trimiterea unui fascicul de lumină prin corpul studiat, în timp ce aceasta este supus vibrațiilor ultrasonore. Prin această metodă se poate determina coeficientul lui Poisson și modulul de elasticitate.

În metoda a patra, determinarea rezistenței betonului, a modulului de elasticitate, precum și descoperirea fisurilor în beton se face prin metoda impulsurilor.

Pentru cercetarea betonului, această metodă a început să se folosească numai în ultimii ani.

Metoda constă în a provoca în corpul de probă sau în construcția respectivă vibrații longitudinale prin impulsuri repetate (de exemplu lovituri de ciocan). Cu ajutorul a două receptoare sonore se fixează timpul de trecere prin beton. Cunoșcînd lungimea parcursului l a impulsului între cele două receptoare sonore și intervalul de timp necesar parcursului, se poate calcula viteza de propagare a undelor longitudinale în beton.

În figura 132 este reprezentată cea mai simplă instalație pentru măsurarea modulului de elasticitate prin metoda impulsurilor.

Instalația constă din două receptoare sonore 3 și 7, două amplificatoare 4, două scheme tiratrocne 5, un indicator de timp 6 și un ciocan 1.

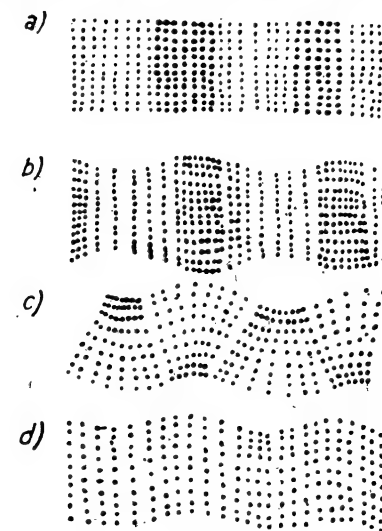


Fig. 131. — Deformațiile unui corp. *a*) longitudinale; *b*) transversale; *c*) din încovoieră; *d*) din forfecare.

Receptoarele sonore se fixează pe corpul de examinat 2 la o distanță l unul de altul. Prin lovire cu ciocanul se creează în beton un impuls unic, care este perceput la timpi diferiți t_1 și t_2 de cele două receptoare.

Impulsul perceput de receptoarele sonore se transformă în două semnale electrice decalate unul față de celălalt cu un interval de timp t , dat de formula

$$t = t_2 - t_1. \quad (115)$$

Citirea se face pe cadranul galvanometrului indicatorului, care poate fi gradat în unități de timp sau în unități de viteză a sunetului.

În acest caz viteza de propagare a vibrațiilor este

$$v = \frac{l}{t} = \frac{l}{t_2 - t_1}. \quad (116)$$

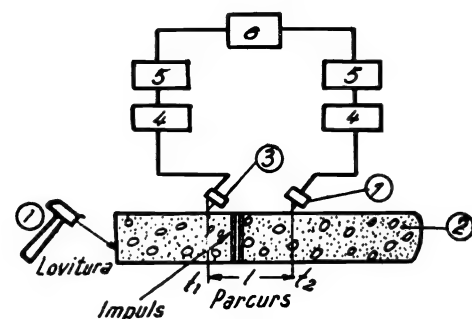


Fig. 132. — Metoda impulsurilor pentru cercetarea betonului.

Cunoscând densitatea materialului, coeficientul lui Poisson pentru betonul dat și aplicând ecuațiile (113), se poate determina modulul de elasticitate.

Această metodă a fost perfecționată prin folosirea metodelor de cercetare supersonice a impulsurilor.

Prin această metodă, în corpul de beton cercetat se trimit impulsuri întreținute cu o frecvență constantă, date de exemplu de un generator electronic de vibrații ultrasonore, care realizează o trimitere repetată de impulsuri.

Schema generală a unei astfel de instalații este redată în figura 133 a, b și c. Generatorul electronic 3, de vibrații ultrasonore, emite pachete de oscilații electrice de câteva sute de kiloherzi, strînse într-un singur impuls (fig. 133 a).

Pachetul de oscilații intră în două circuite:

Un circuit este cel de la generatorul electronic 3 la emițătorul 2, care transformă oscilațiile electrice în oscilații mecanice; acestea sub formă de impuls ultrasonor, trec prin corpul de beton la receptorul de ultrasunete 8, unde se transformă din nou în semnale electrice; apoi prin amplificatorul 7 semnalele sînt duse la indicator (tub catodic de tip televizor).

Al doilea circuit este circuitul așa-numitei desfășurări în așteptare 4, care abate cu o viteză constantă raza tubului catodic pe ecranul 5.

În momentul emiterii, pe ecranul 5 apare un semnal inițial „emitere”, iar în momentul sosirii impulsului prin beton apare un semnal „recepție”.

Timpul de trecere a impulsului prin beton se apreciază după distanța dintre cele două semnale.

Prin calibratorul 6 se pot obține pe ecranul 5 diviziuni exacte de timp.

Cunoscînd lungimea parcursului și folosind formulele (113) se poate determina viteza de propagare a undelor longitudinale ultrasonore și apoi modulul de elasticitate al betonului prin care a trecut impulsul.

Avantajele acestei metode sînt multiple. Astfel:

Impulsurile ultrasunetului pătrund în beton pînă la o adîncime de 30 m.

Poate fi folosită la orice corp de probă sau la orice construcție fără să aducă nici un fel de modificări în corpul de probă.

Instalația nu depășește 20 kg în greutate.

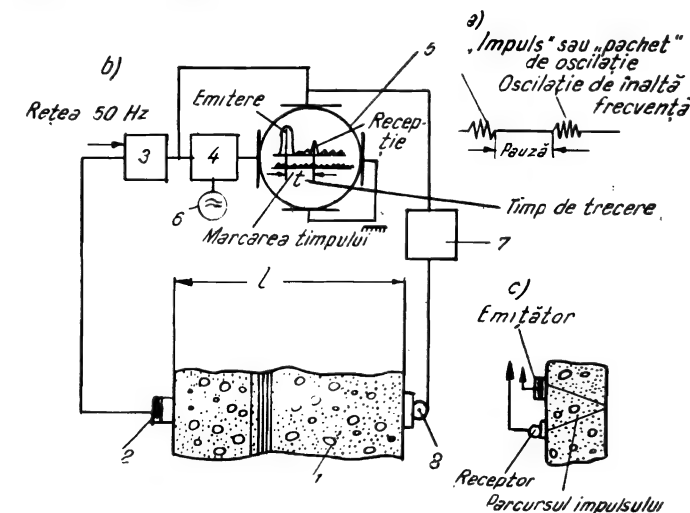


Fig. 133. — Metoda supersonică a impulsurilor de cercetare a betonului.

a) forma impulsului; b) lucrul la sonorizare; c) lucrul la reflecție.

Alimentarea se face de la o rețea obișnuită de 110 sau 220 V curent alternativ și consumă circa 100 W.

Pe lângă descoperirea defectelor, permite stabilirea capacității termice a lichidelor la o presiune constantă, a dimensiunilor „granulelor” corpurilor solide și a altor particularități caracteristice ale materialelor cercetate.

Emițătorul și receptorul pot fi situate pe părți diferite al construcției (fig. 133 b) sau pe aceeași parte (fig. 133 c), dar în acest caz se va ține seama de lungimea dublă a parcursului.

Drept receptor-emițător se pot folosi convertizoare piezoelectrice.

§ 22. EXEMPLE DE CERCETĂRI PRIN METODE SUPERSONICE

Ing. I. V. Zașciuk și ing. Gorsen (U.R.S.S.) au montat în anul 1948 o instalație experimentală pentru determinarea caracteristicilor elastice ale betonului folosind receptoare sonore standard (fig. 134) și emițătoare simple cu sare Seignette (fig. 135).

Vederea generală asupra părții electrice a instalației experimentale este dată în figura 136, în care se vede generatorul electronic 1 emițător

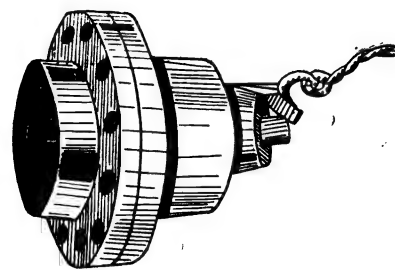


Fig. 134. — Receptor de ultrasunete.

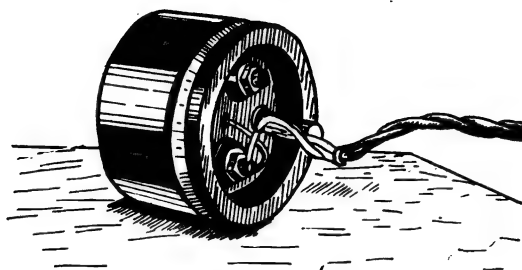


Fig. 135. — Emițător de ultrasunete.

de impulsuri, transmisia emițătorului 2, transmisia receptorului 3, ecranul indicator 4 și amplificatorul 5.

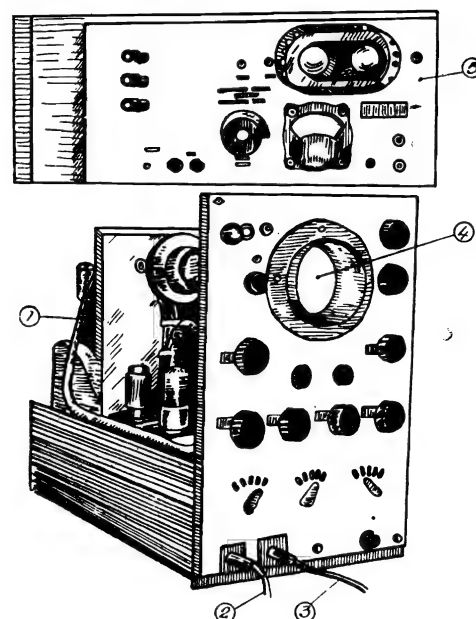


Fig. 136. — Vedere generală asupra părții electrice a instalației experimentale.

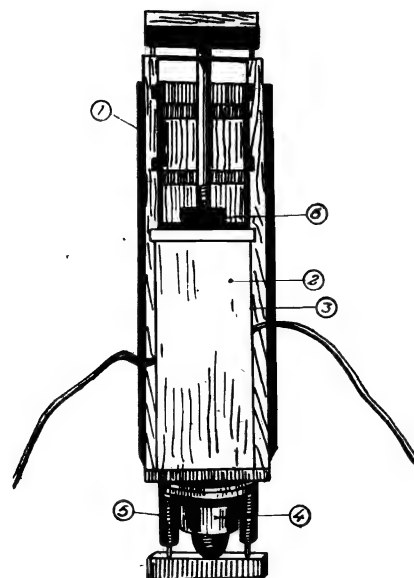


Fig. 137. — Partea de recepție și emisie a instalației cu corp de probă.

Partea de recepție și emisie a instalației electrice din figura 136 se vede în figura 137.

Într-un cofraj de lemn 1 se toarnă piesa de beton 2 în care s-au fixat electrozii 3 pentru încălzirea betonului.

La partea inferioară a cofrajului de lemn se fixează receptorul 4, cu ajutorul unor arcuri de presare 5, iar în partea superioară se fixează emițătorul 6.

Pentru asigurarea unui contact permanent al emițătorului și receptorului cu betonul, instalația se menține în poziție verticală.

În urma măsurărilor executate în anul 1949 s-au tras următoarele concluzii :

1. Oscilațiile ultrasonore în betonul fluid sînt extrem de slăbite și este foarte greu să se descopre impulsul trecut cu ajutorul instalației. Numai după atingerea fazei de întărire, corespunzătoare vitezei de 300 m/s a oscilațiilor longitudinale, se pot face măsurători în bune condiții.

2. Viteza de propagare a undelor longitudinale crește o dată cu creșterea rezistenței betonului.

3. Forma curbei care exprimă dependența limitei de rezistență a betonului la compresiune de timp coincide cu forma curbei care stabilește viteza undelor ultrasonore longitudinale în funcție de timp.

Compararea acestor caracteristici permite construirea unui grafic care stabilește legătura între viteza undelor longitudinale și limita de rezistență a betonului la compresiuni, care împreună cu ecuația (113), caracterizează exact modulul de elasticitate și într-o măsură cunoscută și rezistența corpului de probă sau a construcției.

4. Undele ultrasonore pot fi ușor concentrate într-un fascicul îngust, al cărui unghi de d'spersiune se poate stabili prin ecuația

$$\sin \alpha = 0,61 \frac{\lambda}{d_c}, \quad (117)$$

în care

λ = lungimea unei în beton, determinată prin ecuația (112);

d_c = diametrul convertizorului de ultrasunete.

Acest lucru permite obținerea datelor referitoare la modulul de elasticitate dinamic al unei porțiuni din corpul de probă sau construcției.

După această metodă au fost cercetate baraje masive, îmbrăcămînți de beton și corpuri de probă cu o lungime de 0,2 pînă la 15 m, fiind descoperite fisuri mici pînă la o lățime de 0,025 m.

Adîncimea fisurilor de la suprafață era de la 0,75 m pînă la 1,5 m.

În adîncimea barajelor s-au descoperit regiuni de rezistență scăzută, iar în părțile lui inaccesibile s-a stabilit modulul de elasticitate dinamic.

Deci, se observă că prin intermediul unor aparate simple, folosind metodele supersonice ale impulsurilor, se poate cerceta starea betonului și stabili caracteristicile elastice ale acestuia, atît în cursul procesului de întărire cît și în timpul procesului de exploatare.

În tabela 3 se dau cîteva rezultate obținute în construcțiile de beton de diferite vechimi prin metodele supersonice ale impulsurilor.

În ceea ce privește cercetarea betonului din construcțiile executate, cu ajutorul ultrasunetelor, fără distrugerea materialului este o problemă la care și la noi în țară s-a ajuns la unele rezultate pozitive.

Din cercetările efectuate la Institutul de construcții Iași, de către conf. univ. ing. N. Popescu pe un număr mare de probe de beton cu dozare

Tabela 3

Determinarea vitezelor impulsurilor în îmbrăcămintele de beton

Nr. crt.	Viteza undelor longitudinale în m/s	Vechimea betonului cercetat în ani	Aprecierea calității	Caracteristicile betonului
1	4 740—4 800	2	foarte bună	Rezistența reală la compresiune la încercarea cilindrilor de beton la o vîrstă de: 7 zile — 147 kg/cm ² 14 „ — 210 kg/cm ² 28 „ — 252 kg/cm ²
2	4 770	21	bună	Cîteva fisuri transversale, desprinderi de straturi în stare de nedezvoltare
3	4 800	20	satisfăcătoare	Fisuri ușoare pe porțiuni mici, oarecare distrugeri și desprinderi de straturi la rosturi
4	3 990—4 230	16	nesatisfăcătoare și satisfăcătoare	Galerii adînci: multe incluziuni străine în agregate
5	2 550—4 590	20	idem	Distrugeri din cauza incluziunilor la agregat. Tasarea la terasamentul drumului, goluri
6	2 400—4 200	19	idem	Drum în stadiu de distrugeri. În agregat mult gneis și calcar argilos
7	2 100—3 900	18	rea	Multe goluri, agregatul același
8	1 890—4 530	19	foarte rea	În unele locuri îmbrăcămintea distrusă în întregime. Fisuri în toate direcțiile. Peste tot se observă desprinderi de straturi

de ciment diferite și întărite în cele mai variate condiții de temperatură s-a constatat că între viteza ultrasunetului prin beton și caracteristicile tehnice ale acestuia se pot stabili relații simple și precise ca :

$$R_b = CV_1^4 \quad (118)$$

și

$$E = KV_1^2, \quad (119)$$

în care am notat prin

R_b = rezistența la compresiune a betonului în kg/cm²;

C = coeficient ce depinde de natura agregatului;

V_1 = viteza undelor ultrasonore longitudinale în km/s;

E = modulul de elasticitate longitudinal în kg/cm²;

K = coeficient ce depinde de constanta Poisson și de densitatea betonului fiind cuprins între 17 000 și 20 000 pentru betoane obișnuite.

În urma încercărilor efectuate pe proba încărcată s-a văzut că rezistența betonului și modulul de elasticitate determinate pe baza vitezei ultrasunetului măsurat sînt independente de mărimea efortului de compresiune.

Aparatul folosit se compune dintr-o instalație electronică formată din generatoare de impulsuri electrice baza de timp sincronizată cu generatorul, tub catodic, amplificatorul impulsului recepționat și calibratorul de timp, un emițător de ultrasunete, care prin intermediul unei plăci de cristal piezoelectrice transformă oscilațiile electrice date de generator și un receptor de ultrasunete.

Aparatul are dimensiunile de 18 × 30 × 25 cm. Cîntărind 10 kg, este adecvat măsurărilor pe șantier. Este alimentat la o rețea de curent alternativ monofazat de 220 V, consumul de putere fiind circa 70 W.

Cercetările în curs vor permite stabilirea de noi relații cu ajutorul cărora să se poată determina valoarea tuturor eforturilor din beton, astfel ca să existe posibilitatea să se tragă anumite concluzii în ceea ce privește comportarea și exploatarea construcției.

CAPITOLUL IV
**CERCETĂRI HIDRAULICE DE INFILTRAȚIE ȘI OBSERVAȚII
 ASUPRA SUBPRESIUNILOR ȘI CONȚINUTULUI DE APĂ
 ÎN BETONUL ȘI FUNDAȚIILE CONSTRUCȚIILOR**

A. CERCETĂRI HIDRAULICE

§ 1. GENERALITĂȚI

Cercetările hidraulice sînt necesare atît pentru siguranța construcției, cît și pentru stabilitatea ei.

Cunoașterea acțiunii curenților de suprafață și de adîncime asupra lucrărilor executate dau posibilitatea să se ia din timp măsurile necesare pentru prevenirea consecințelor dezavantajoase ale acestei acțiuni.

Nivelul apelor, direcția și viteza de scurgere a curenților de apă, debitele sînt valori ce trebuie măsurate și cunoscute. Aceasta și pentru a se putea face o verificare a ipotezelor făcute în calculele hidraulice.

La fel de important este și controlul nivelului apelor subterane, care nu trebuie limitat numai pe regiunea lacului de acumulare și pe versanții construcției, ci trebuie extins și în regiunea apropiată din avalul barajului.

De aceea se va da o deosebită atenție, încă înainte de executarea construcției, atît izvoarelor, cît și nivelului apelor subterane din regiunea construcției și din împrejurimi, și aceasta mai ales acolo unde retenția barajului este despărțită de celelalte regiuni prin creste relativ înguste.

La executarea construcțiilor, și mai ales a barajelor de greutate, este necesar ca apa de izvoare să fie captată și dusă în afara fundației încă înainte de ridicarea construcției.

În felul acesta, valoarea subpresiunii va fi mult micșorată și totodată se va salva betonul proaspăt turnat de distrugere prin înmuierea lui cu apă.

Pentru aceste studii, în afară de măsurătorile făcute cu ajutorul aparatelor, se fac în paralel observații calitative asupra caracterului curen-

tului de apă asupra valurilor, ghețurilor, condițiilor și formelor disipatorului, asupra eroziunii, a sufozării etc.

În cele ce urmează nu se va însista asupra descrierii aparatelor cunoscute folosite în studiile hidrogeologice și hidrometrice (dispozitive hidrometrice etc.), ci se vor descrie acele aparate care nu sînt suficient prezentate în literatură, cu toate că ele sînt însușite de mult în practica hidrotehnice. La fel se va proceda și în ceea ce privește metodele de studiu și de cercetare.

§ 2. METODELE DE MĂSURARE ȘI APARATELE FOLOSITE

Determinarea elementelor hidraulice ale curenților din zona construcției constau în lucrări hidrometrice obișnuite, dar trebuie avut în vedere faptul că de caracteristicile lor depinde reușita construcției.

Măsurarea nivelului de apă. Măsurarea nivelului de apă în râuri se face cu ajutorul mirelor și limnigrafelor, iar în curenții de apă repezi cu ajutorul piezometrelor.

Pentru controlul oscilațiilor nivelului apei din lacul de acumulare, precum și pentru controlul debitului afluent și a celui defluent, se folosește un sistem de limnigrafe.

De obicei telelimnigrafele se instalează la capătul amonte al remuului, precum și în toate vărsările de apă în lac.

În scopuri energetice, nivelul apelor se înregistrează cu telelimnigrafe amplasate la priză. La baraje se instalează telelimnigrafe care înregistrează nivelul apei necesar manipulării în timpul viiturilor.

În albia regularizată în aval de disipator, se instalează pentru măsurarea debitelor defluente de asemenea un telelimnigraf. În afară de aceste instalații, se va prevedea pe paramentul amonte al barajului o miră obișnuită.

Rezultatele înregistrărilor limnigrafice sînt transmise în camera de comandă a barajului și a centralei hidroelectrice.

În baraj se prevede o cameră a limnigrafelor, care de obicei se amplasează într-o nișă a galeriei din etajul superior al barajului.

Pentru protecție, flotorii limnigrafelor se mișcă în tuburi de oțel.

Nivelul apei subterane din împrejurimile barajului poate fi observat în puțuri sau în sonde forate, executate special în acest scop. Puțurile și sondele forate permit totodată a se vedea și traseul curenților subterani. Aceste măsurători trebuie începute o dată cu lucrările de pregătire pentru construcția barajului, astfel încît studiul lor să dureze mai mulți ani, pentru a se avea o situație exactă a nivelurilor apelor subterane atît în anii secetoși cît și în cei ploioși.

Puțurile sau sondele forate se așază în cîteva rînduri (1 — 5 rînduri) atît pe versanții rîului, cît și în amonte și avalul construcției.

La alegerea zonei necesare pentru amplasarea puțurilor sau sondelor forate se va prevedea o suprafață care să asigure cu destulă precizie construirea suprafeței de depresiune a apelor subterane ce trec prin maluri.

Determinările se fac prin piezometre sau prin sonda-fluer.

Măsurarea vitezelor de scurgere ale curenților. Vitezele de scurgere ale curenților se măsoară cu ajutorul moriștilor hidrometrice, plutitorilor, iar uneori cu tubul Pitot.

Metoda bazată pe morișca hidrometrică se poate utiliza cu bune rezultate dacă sînt îndeplinite următoarele condiții:

- fundul albiei să fie destul de regulat;
- apa să fie destul de adîncă;
- mișcarea apei să fie cît mai apropiată de mișcarea laminară.

La moriștile hidrometrice se va prevedea o instalație de etalonare, atît pentru reetalonări periodice, cît și pentru etalonări în cazul înlocuirii paletelor avariate prin palete noi confecționate.

Determinarea direcției de scurgere. Direcția de scurgere a apelor de suprafață se determină cu ajutorul plutitorilor, moriștilor speciale etc., iar a curenților subterani prin introducerea de coloranți, ca fluoresceină etc.

Măsurarea debitelor de apă. Măsurarea debitelor de apă se face cu ajutorul deversorilor, injectarea unei soluții de sare, cu vase de măsură (cuve tarate) etc.

O extindere destul de mare au luat-o măsurările cu ajutorul deversorilor triunghiulari.

La aflarea debitului prin injectarea unei soluții de sare de rîu, se procedează în modul următor:

Se injectează în rîu o soluție de sare de concentrația t_1 , dintr-un vas cu debit constant q în l/s și se determină concentrația t_2 a soluției formate după injectare. Dacă concentrația apei curate de rîu este t_0 , atunci debitul rîului este dat de relația

$$Q = \frac{t_1}{t_2 - t_0} \cdot \frac{q}{1000} \text{ m}^3/\text{s}. \quad (120)$$

Pentru a se obține un debit constant q , se folosește vasul Mariotte, care asigură scurgerea soluției printr-un orificiu determinat cu o viteză $v = \sqrt{2gh}$, în care h trebuie să fie constant.

Pentru reușita determinărilor se va avea în vedere ca:

- să se aleagă pe rîu porțiuni cu cascade și fără ape moarte;
- apa din vasul Mariotte să intre în curentul principal al rîului;
- dizolvarea sării să fie asigurată prin amestecare energetică și îndelungată;
- luarea probelor să se facă la sfîrșitul porțiunii cu cascade, dar nu la o distanță prea mare de locul de injectare.

Debitul de apă care se infiltrează în corpul construcției se captează într-o regiune a barajului și se determină fie prin metoda volumetrică, cronometrînd timpul de umplere cu apă al unui vas de măsură (cuvă tarată de 6 — 12 l), sau cu ajutorul deversorilor de măsură, sau prin calcul pe baza coeficientului cunoscut de infiltrație, al gradientilor și a adîncimei curentului infiltrat, aflat prin observații cu piezometre.

În bieful inferior al construcțiilor se adună o cantitate de apă care este suma a două fluxuri de apă. Un flux este datorit apelor ce înconjură

construcția și altul datorit apei infiltrate din lacul de acumulare prin terenul de fundație.

Pentru a se avea o imagine reală a debitelor infiltrate din lac și a apelor provenite prin maluri este important de a se cunoaște debitul de apă separat pentru fiecare flux.

Dacă

- t_1 = concentrația sărurilor din lacul de acumulare,
- t_2 = concentrația sărurilor din apele subterane naturale,
- t = concentrația sărurilor din apa rezultată în bieful inferior,
- q_1 = debitul de apă infiltrat din lacul de acumulare,
- q_2 = debitul apelor subterane,
- q = debitul total rezultat și măsurat în aval,

atunci trebuie să avem îndeplinită egalitatea

$$\left. \begin{aligned} q &= q_1 t_1 + q_2 t_2, \\ (q_1 + q_2) t &= q_1 t_1 + q_2 t_2, \end{aligned} \right\} \quad (121)$$

sau

ceea ce duce la o simplă ecuație

$$q_1 (t - t_1) = q_2 (t_2 - t),$$

care se poate pune sub forma

$$\frac{q_1}{q_2} = \frac{t_2 - t}{t - t_1},$$

de unde

$$q_1 = q_2 \frac{t_2 - t}{t - t_1}. \quad (122)$$

Adunînd de o parte și alta pe q_2 , se obține

$$q_1 + q_2 = q_2 \frac{t_2 - t}{t - t_1} + q_2,$$

adică

$$q = q_2 \left(\frac{t_2 - t}{t - t_1} + 1 \right).$$

În mod analog și pentru q_1 , se obține ecuațiile

$$\left. \begin{aligned} q_1 &= \frac{q}{\frac{t - t_1}{t_2 - t} + 1}, \\ q_2 &= \frac{q}{\frac{t_2 - t}{t - t_1} + 1}. \end{aligned} \right\} \quad (123)$$

Cu valorile aflate se fac grafice care completează studiile hidraulice asupra comportării construcției respective.

Conținutul de materii în suspensie se face prin analiza apei.

B. MĂSURAREA INFILTRAȚIILOR

§ 3. GENERALITĂȚI

Debitele de apă care se infiltrează sau pătrund în corpul construcției de beton caracterizează calitatea betonului, unitatea construcției (existența fisurilor) și de asemenea etanșeitatea rosturilor de dilatație.

Debitul de apă infiltrat în corpul construcției, în zonele din afara drenurilor, depinde de valoarea presiunii hidrostatice, de calitatea betonului executat, precum și amenajarea rosturilor de lucru.

Apele infiltrate se colectează cu ajutorul unei rețele de drenuri prevăzute pe paramentul amonte al barajului, precum și pe traseul gale-riilor de control, de injecție etc., la punctul cel mai de jos al barajului, de unde prin pompă apa este trimisă în avalul construcției.

Este util a se face din când în când analiza chimică a apei infiltrate, pentru a se stabili gradul de descalcinizare a betonului. Dacă procentajul de calcar spălat din ciment scade cu mai mult de o treime, atunci este periclitată chiar stabilitatea construcției.

Așadar prin măsurarea cantității de apă infiltrată se urmărește :

- determinarea etanșeității rosturilor de dilatație,
- determinarea permeabilității betonului,
- determinarea gradului de infiltrație a apei prin talpa de fundație.

§ 4. PRINCIPIUL MĂSURĂRII

Apa, infiltrată prin rosturile de dilatație, fisuri, talpa de fundație și prin beton, este dirijată prin drenuri la dispozitivele de măsurare a debitelor, care sînt

- vasele de măsură și
- deversorii triunghiulari Thompson.

În cazul vaselor de măsură, debitele se stabilesc prin metoda volumetrică, atît pe grupe de drenuri cît și la drenul colector.

Grupele de drenuri se formează astfel încît să existe posibilitatea măsurării debitelor de apă separat pentru apele infiltrate prin :

- rosturile de dilatație,
- rosturile de lucru în zonele dintre drenuri,
- drenurile fixate în corpul barajului,
- drenurile de subpresiune și puțurile de control.

Toate aceste ape sînt apoi conduse prin drenul colector principal, unde se face măsurarea cantității totale de apă infiltrată. Însumarea debitelor parțiale măsurate constituie un control al debitului măsurat în drenul colector.

Din experiență s-a observat că drenurile și puțurile de control din apropierea paramentului amonte măresc debitul de apă infiltrat. Acest lucru cere o amplasare exactă a drenurilor. Pînă în prezent nu există reguli care să stabilească acest lucru, ci orientarea trebuie făcută după experiența de la construcția altor baraje.

În cazul determinării debitelor cu deversori Thompson se amenajează compartimente în lungul drenului, a căror poziție nu este fixă. Aceste compartimente sînt despărțite prin deversori triunghiulari.

§ 5. DISPOZITIVELE DE MĂSURARE

Vasele de măsură au o capacitate de 6 — 12 litri și servesc la colectarea apei infiltrate.

Forma lor este de preferință dreptunghiulară și sînt executate din tablă.

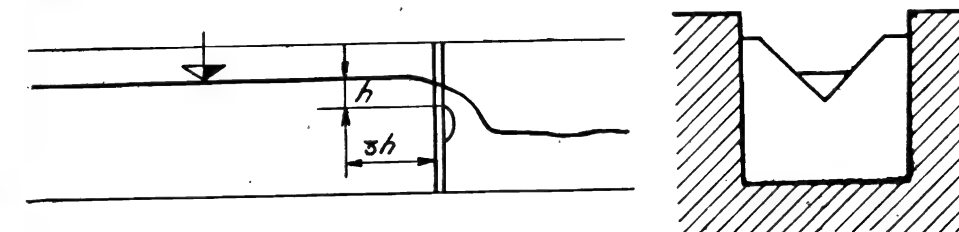


Fig. 138. — Determinarea debitului de apă cu ajutorul deversorului triunghiular.

Timpul în care se umple vasul se exprimă în secunde și se cronometrează cu ajutorul unui cronometru. Măsurarea se repetă de cîteva ori și în formular se trece media citirilor.

Trebuie să se aibă grijă ca în vase să se strîngă toată cantitatea de apă infiltrată.

Deversorii triunghiulari Thompson servesc ca pereți compartimentelor fixate în lungul drenurilor.

Prin aceste compartimente trebuie să treacă toată apa infiltrată. Înălțimea nivelului apei scurse peste vîrfurile triunghiului deversor ne dă indicația asupra debitului infiltrat.

Cu ajutorul deversorilor se poate determina de asemenea debitul de apă infiltrat parțial pe grupe de drenuri, cît și total.

Determinarea debitului de apă cu ajutorul deversorilor triunghiulari se face în modul următor (fig. 138) :

- 1) Se introduce deversorul în canalul drenului, iar porțiunea de contact dintre peretele drenului și deversor se etanșează cu cîneșă sau argilă.
- 2) Se așteaptă pînă se stabilește nivelul apei deasupra deversorului.
- 3) Se măsoară înălțimea apei deasupra vîrfului triunghiului deversor, cu ajutorul căruia se trece apoi la calcularea debitului.

§ 6. ÎNSEMNAREA MĂSURĂTORILOR ȘI CALCULUL

Rezultatele măsurărilor se trec într-un formular în care sînt cuprinse următoarele date :

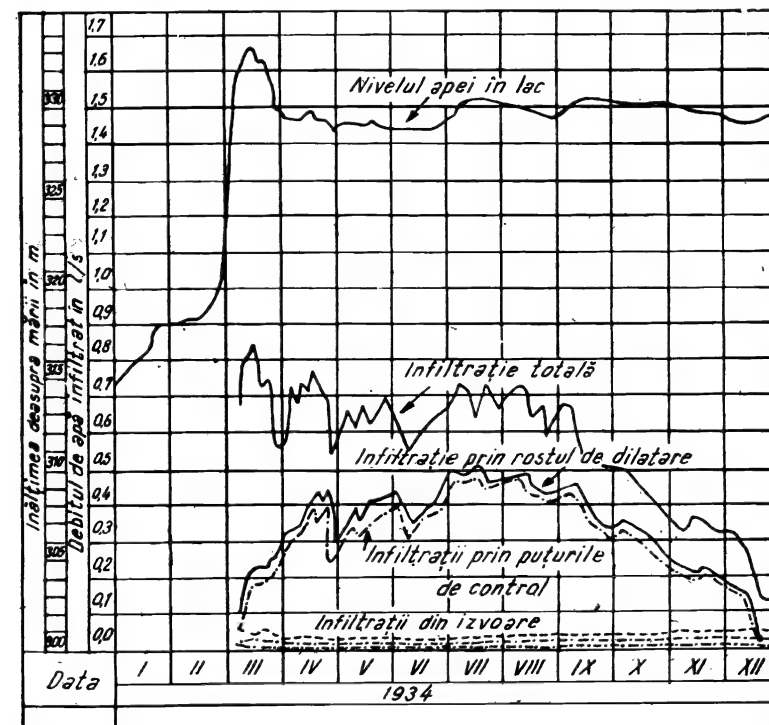
Numărul curent al măsurării.

Data și ora măsurării.

Debitul infiltrat în litri pe secundă.

În cazul utilizării vaselor de măsură se va trece într-o coloană volumul de apă V al vasului, în litri, iar în altă coloană timpul T în care vasul s-a umplut cu apă, în secunde.

Anul 1934



Ianuarie 1934 Scara { pe vert. 4mm = 1m = 0.05 l/sec.
pe oriz. 0.4 = 1 zi

Fig. 139. — Infiltrații de apă la un baraj din beton.

Într-o altă coloană se trece debitul de apă Q , în litri pe secundă,

$$Q = \frac{V}{T} \cdot 1/s \quad (124)$$

În cazul deversorilor triunghiulari Thompson va exista încă o coloană în care se va trece înălțimea H a apei peste deversor și o coloană în care se va trece debitul de apă fie calculat analitic, fie grafic.

Cu datele astfel obținute se întocmește un grafic în care pe ordonată se trece debitul infiltrat (litri/secundă) și pe abscisă timpul, însemnându-se

totodată dependența infiltrațiilor față de nivelul din lacul de acumulare și de timp (fig. 139).

La efectuarea controlului infiltrațiilor este important să se observe punctele de infiltrație maximă, care sînt acelea care periclitează siguranța construcției, și nici decum să se orienteze după media de infiltrație exprimată în l/m. Pentru aceste puncte de infiltrație maximă se vor lua măsuri speciale de etanșare.

§ 7. CONTROLUL PERMEABILITĂȚII BETONULUI

În urma infiltrațiilor de apă în corpul construcției se cercetează gradul de permeabilitate al betonului. În locul de ieșire a apei infiltrate apar pete umede. Locul defect se însemnează cu culoare, se numerotează și dimensiunile suprafeței și forma respectivă se trec în registrul de evidență măsurătorilor.

Clasificarea permeabilității betonului se face în modul următor:

— igrasie — locul defect este mai întunecat decît restul suprafeței
— umezeală — prin aplicarea palmei pe locul defect, mîna rămîne umedă

— transpirație — pe locul defect apar picături de apă
— picurare — din locul defect se preling sau cad jos picături de apă
— izvorire — din locul defect se prelinge o șuviță de apă
— țîșnire — din locul defect apa iese sub presiune sub formă de jet.
Grosimea jetului poate fi de la grosimea firului de paianjăn pînă la cel mai puternic curent posibil.

Controlul permeabilității se poate face și înainte de punerea sub sarcină a lucrării respective, aceasta fie printr-o probă luată din construcție și dusă la laboratorul de studii și încercări, fie prin examinarea drenurilor verticale de la paramentul amonte care se țin un anumit timp umplute cu apă.

După constatarea defectelor se prescrie rețeta de reparație, etanșare cu mortar, plombe de ciment, injectare etc.

§ 8. MĂSURAREA INFILTRAȚIILOR ÎN CONSTRUCȚIILE DE PĂMÎNT

Construcțiile de pămînt, de exemplu barajele de pămînt, sînt foarte răspîndite. Cu toate acestea, ele necesită o atenție deosebită atît în procesul construcției, cît și în procesul de exploatare. La barajele de pămînt cu cădere mijlocie și mare se organizează de obicei o supraveghere regulată a infiltrațiilor și a deformațiilor corpului barajului.

Determinarea infiltrațiilor în corpul construcțiilor de pămînt au ca scop:

- stabilirea variației suprafeței de depresiune (suprafață de saturație) a apelor infiltrate;
- stabilirea debitului de infiltrație prin construcție.

Aceste observații trebuie făcute și la maluri pentru studiul infiltrațiilor care ocolesc construcția.

a) *Stabilirea variației suprafeței de depresiune.* Pentru supravegherea poziției curbei de depresiune, în corpul barajului se instalează în secțiunile caracteristice ale barajului piezometre (fig. 140).

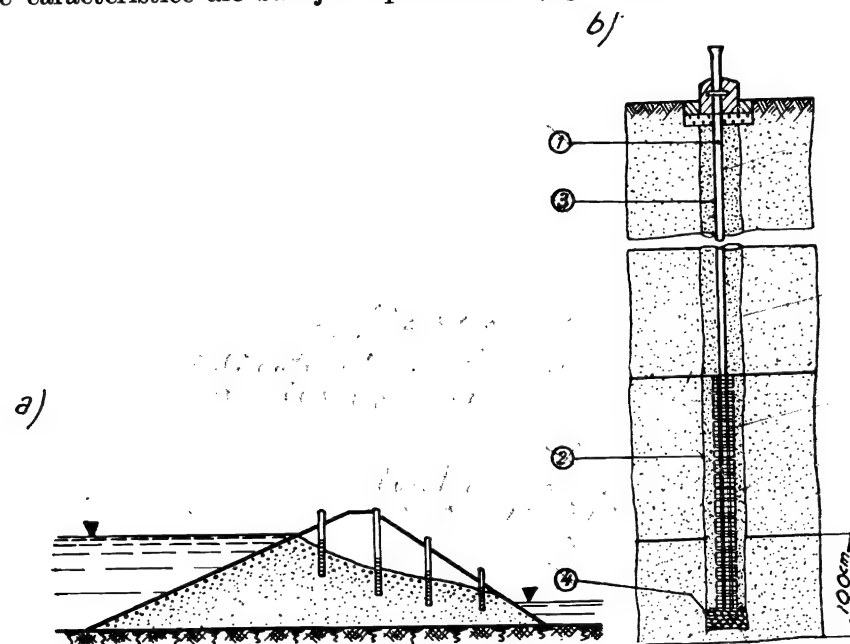


Fig. 140. — Piezometrele unui dig de pământ:
a) așezarea piezometrelor; b) utilajul piezometrelor.

La barajele lungi distanța între planele piezometrelor se ia egală cu 150—200 m. La barajele scurte se amplasează două-trei plane de piezometre în lungul construcției. În fiecare plan trebuie să se găsească cel puțin patru piezometre. Pentru barajele executate dintr-un material omogen, piezometrele se așază în plan în modul următor: un piezometru se așază aproape de muchia taluzului amonte, unul în limitele coronamentului barajului și două în limitele taluzului aval (fig. 140 a).

La digurile cu ecran de etanșare, anteradier și simbare de etanșare, primul piezometru urmează să fie instalat în regiunea de cădere așteptată a curbei de depresiune, în spatele dispozitivului contra infiltrațiilor.

Piezometrele se prezintă sub formă de tuburi obișnuite de gaze 1 ale căror capete inferioare în limitele oscilațiilor posibile (aproximativ 3 sau 4 metri) ale liniei de depresiune se perforază și se înfășoară într-o plasă de cupru sau se înconjură cu straturi de nisip și pietriș 2 a căror granulație se micșorează de la țevă spre teren, realizându-se astfel în jurul părții perforate un filtru a cărui nisip este spălat.

Aceste tuburi vin introduse în niște puțuri forate 3 în corpul construcției de pământ cu diametrul de aproximativ 150 mm (fig. 140 b).

Piezometrul se introduce în puț pe fundul căruia se toarnă în prealabil un strat de pietriș curat 4 de 20 cm.

Poziția liniei de depresiune în corpul barajului în funcție de nivelele apei în biefuri, care se măsoară cu ajutorul mirei hidrometrice, se apreciază după nivelul apei în piezometre determinat prin metodele folosite în hidrologie, ca: sonde fluer, sonda electrică etc.

b) *Stabilirea debitului de infiltrație.* Debitul de apă infiltrat se determină, de obicei prin captarea apei infiltrate într-o regiune accesibilă în baraj, fie prin vase de măsură, fie prin calcul.

§ 9. PROGRAMUL MĂSURĂTORILOR

Ținerea sub observație a infiltrațiilor este de mare importanță deoarece, de multe ori după terminarea construcției, au fost observate creșteri ale debitului de infiltrație, ceea ce înseamnă că în corpul barajului sau în fundație au apărut neetanșeități. În acest caz trebuie luate măsuri urgente de înlăturare a acestor infiltrații.

În concluzie, măsurarea infiltrațiilor în corpul barajului se face după terminarea construcției, ea trebuind să fie însă începută încă din timpul fundării barajului.

În timpul umplerii lacului, măsurarea în zonele de mari infiltrații trebuie să se facă zilnic. Astfel la construcțiile din pământ măsurătorile se fac zilnic sau cel puțin o dată la două zile, la o oară stabilită, iar valorile se consemnează într-un formular special.

Infiltrațiile prin beton, infiltrațiile mici și cele prin rosturile de dilatație se controlează o dată sau de două ori pe săptămână.

Procedul de funcționare, manipularea nivelului în lacul de acumulare și cerințele pentru măsurarea pe durată lungă, vor fi stabilite într-un plan tematic.

Măsurătorile și aprecierile asupra cotei nivelului apei din piezometre, prezența infiltrațiilor de apă, a focarelor de infiltrație, precum și debitele de infiltrație se trec în aceste formulare tip.

FORMULARE TIP PENTRU ÎNREGISTRAREA NIVELURILOR ȘI DEBITELOR DE INFILTRAȚIE

Denumirea construcției

FORMULAR PRIVIND NIVELURILE APEI ÎN PIEZOMETRE

Nr. crt.	Data măsurări	Locul unde se află piezometru	Felul piezometru-lui numărul	Distanța de la punctul de măsurare până la nivelul apei din piezometru	Distanța de la punctul de măsurare până la nivelul apei din amonte sau aval	Cota punctului la care se face măsurătoarea	Cota nivelului apei		Obs.
							în piezometru	în amonte sau aval	
1	2	3	4	5	6	7	8	10	11

Obs. Acest formular va fi însoțit de grafice și profile din care să rezulte amplasarea piezometrelor.

Denumirea construcției

FORMULAR PRIVIND OBSERVAȚIUNI ASUPRA ACTIVITĂȚII FOCARELOR DE INFILTRAȚIE

Nr. crt.	Data descoperirii focarului	Locul unde a fost descoperit	Scurtă descriere a activității focarului	Debitul de apă l/sec	Cota nivelului		Obs.
					Amonte	Aval	
1	2	3	4	5	6	7	8

Obs. La observații se trece data încetării activității focarului, reactivării etc.

Denumirea construcției

FORMULAR PENTRU MĂSURAREA DEBITELOR DE INFILTRAȚIE

Nr. crt.	Data măsurării	Locul unde se măsoară	Sistemul de deversor	Cota citită pe mira deversorului	Valoarea debitului l/sec	Obs.
1	2	3	4	5	6	7

C. MĂSURAREA SUBPRESIUNILOR

§ 10. GENERALITĂȚI

Pentru calculul unui baraj de greutate și pentru aprecierea rezistențelor în fundații, un rol important îl joacă cunoașterea valorii subpresiunilor.

Numai măsurători executate minuțios ne pot da informații precise asupra mărimii și distribuției lor efective. Valoarea subpresiunilor depinde direct de presiunea hidrostatică a apei din lacul de acumulare și este maximă în partea dinspre amonte ale barajului. Valoarea ei scade prin drenarea fundației, prin injectarea fundației și prin tocretarea suprafeței fundației.

Până în prezent nu s-a ajuns la o părere unanim recunoscută în ceea ce privește valoarea subpresiunii, fapt ce a dus la supradimensionarea construcțiilor în mod inutil.

Ideea care predomină în prezent este că valoarea subpresiunii în amonte este jumătate din valoarea presiunii hidrostatice și că ea se anulează în aval.

În urma măsurării subpresiunilor, s-a văzut că subpresiunea reală este reprezentată printr-o linie frântă care, de la subpresiunea corespunzătoare întregii presiuni hidrostatice, scade în dreptul drenului la jumă-

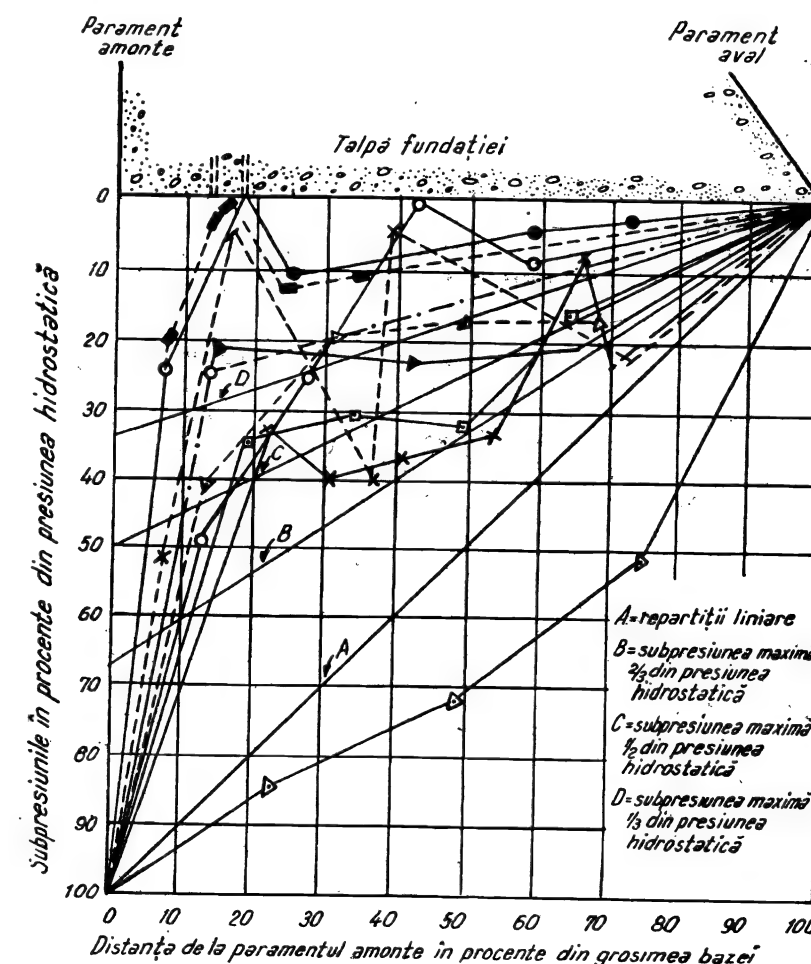


Fig. 141. — Subpresiunile observate la barajele de greutate (după Creager).

tate, de unde apoi scade la zero în partea aval a barajului. Această distribuție a subpresiunii s-a observat în urma măsurărilor făcute la mai multe baraje de greutate (fig. 141).

Mărimea subpresiunii în locurile cercetate se stabilește după înălțimea coloanei de apă observate la gura tuburilor sau forajelor.

În studiul de față se va insista asupra măsurării subpresiunii la talpa fundației și măsurării presiunilor din porii betonului și terenul de fundație.

§ 11. METODE PENTRU MĂSURAREA SUBPRESIUNILOR

Până în prezent s-au imaginat mai multe metode pentru măsurarea subpresiunilor. Dintre acestea insistăm asupra următoarelor :

- a) metoda de măsurare prin tuburi piezometrice
- b) metoda de măsurare prin foraje
- c) metoda de măsurare prin drenuri

a) *Metoda de măsurare a subpresiunilor prin tuburi piezometrice, este o metodă simplă.*

În rostul de fundație al barajului se instalează (fig. 142) un recipient colector 1, destinat admisiei apei și care prin tubul 2 este legat de

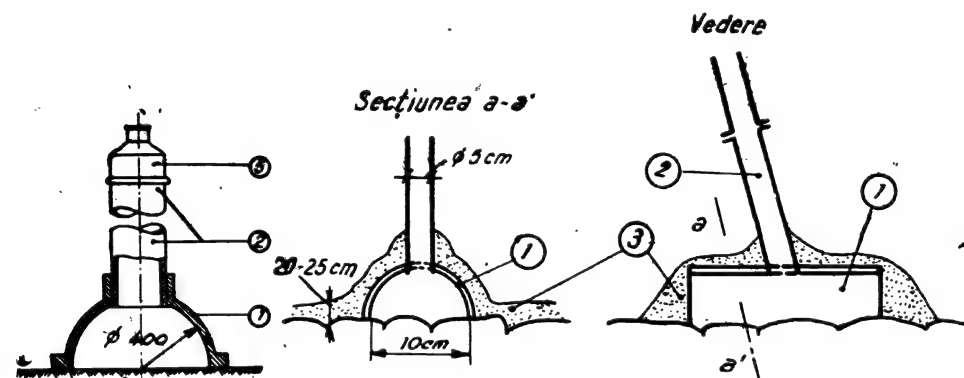


Fig. 142. — Recipient colector instalat la talpa fundației.

Fig. 143. — Așezarea drenurilor de subpresiune pe stîncă.

culoarul galeriei de control. Aici se termină printr-o reducție 5, care permite instalarea unui manometru în timpul măsurărilor.

Pentru a se împiedica astuparea rapidă a tuburilor piezometrice, se aleg următoarele dimensiuni : pentru semisfera din fontă 1 un diametru de 190 mm, iar pentru tubul 2 un diametru de 60—70 mm.

La instalare, tuburile se așază de preferință vertical, pentru a se putea face la nevoie și un control al nivelului apei.

Recipientele se așază într-un filtru invers de nisip și pietriș.

În locul recipientelor colectoare metalice se pot folosi (fig. 143) tuburi de beton 1 prevăzute cu o gaură pentru tubul piezometric 2. Contactul tubului de beton cu stîncă și cu tubul piezometric din oțel se torcrează 3.

În cazul folosirii recipientelor colectoare metalice sau din beton, apa de subpresiune pătrunde cu ușurință și se ridică în tubul piezometric.

Cînd se urmărește cunoașterea subpresiunilor în masa de beton sau în interiorul roci de fundație se folosește recipientul colector (fig. 144). Legătura între recipientul colector 1 și galeria de control, unde se face măsurarea, se face prin reducția 3, la care se anexează un manometru. Diametrul interior al recipientului se ia de 190 mm. Pereții sînt găuriți pentru ca apa să poată pătrunde cu ușurință.

În cazul cînd se pune problema de-a extinde tubul piezometric și în terenul de fundație, se utilizează instalația din figura 145.

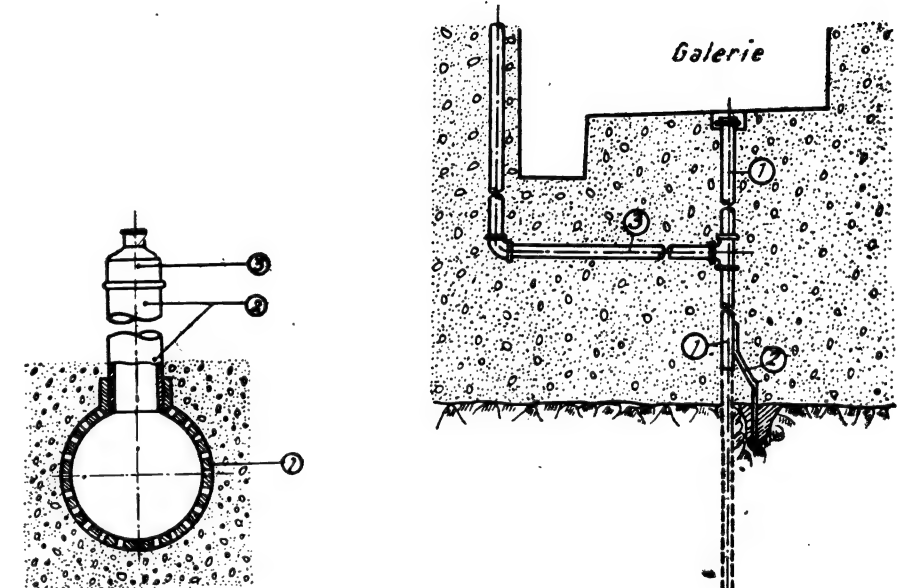


Fig. 144. — Recipientul colector instalat în masa de beton.

Fig. 145. — Extinderea zonei de măsurare cu tubul piezometric.

După ce terenul a fost pregătit pentru betonare, se face un foraj în dreptul tubului piezometric 1 cu diametrul minim de 35 mm și cu adîncimea de circa 100 cm. Tubul piezometric se sprijină prin fierul 2 și este scos la galeria de control, sau, dacă acest lucru nu este posibil, se leagă printr-o ramificație laterală 3 pînă la stația de măsurare.

Această instalație se folosește de obicei în acele locuri unde nu se mai fac injecții ulterioare.

b) *Metoda de măsurare prin forare* constă în măsurarea subpresiunii în foraje făcute în fundația barajului, în diferite locuri ale profilului transversal, astfel încît să se obțină o diagramă reală a subpresiunilor. Aceste foraje se duc pînă sub talpa fundației cu circa 1 m.

La partea superioară a acestor foraje, în galeria de control, se îmbetonează un tub filetat la un capăt, la care vine înșurubat manometrul (fig. 146).

Tubul de oțel 1 are diametrul de 25,4 mm și lungimea de 120 cm și se introduce în forajul 2 pe o adâncime de circa 40 cm. La partea inferioară a tubului se prevede o

garnitură de cauciuc 3 pentru etanșare. Spațiul dintre tub și foraj se umple cu un mortar slab 4. Manometrul se prinde la capătul filetat 5.

c) Măsurarea subpresiunilor prin drenuri, se poate face, de asemenea, fără multe amenajări speciale (fig. 147).

În drenul respectiv 1 se introduce un tub de oțel 2, cu diametrul 80 mm și lung de circa 80 cm pe o adâncime de 30 cm. Se prevede și aici un sistem de etanșare 3. Spațiul dintre tub și dren se umple cu mortar slab 4. La partea superioară a tubului se prinde o reducție la care se pune manometrul.

Măsurarea subpresiunilor în galeriile de control se poate face folosind tuburi de sticlă cu diametrul maxim de 20 cm sau cu ajutorul unor manometre sensibile.

Manometrele sînt executate fie dintr-un metal inoxidabil, fie din fier obișnuit și sînt gradate în zecimi de atmosfere. O zecime de atmosferă reprezintă o coloană de apă înaltă de 1 m.

Manometrul este prevăzut cu un ventil, care permite scoaterea manometrului din funcțiune. Pe tot timpul cît nu se măsoară, manometrul se demontează, iar orificiul de presiune rămîne închis.

La montare, manometrul se înșurubează pe tubul piezometric, se deschide ventilul și se așteaptă un moment. Valoarea citită se trece într-un formular. Măsurarea trebuie efectuată întotdeauna simultan la întregul profil studiat.

Pentru citirea valorii subpresiunilor se recomandă a se utiliza manometre precise cu gradatie de la 0 la 1,5 atm sau de la 0 la 2,5 atm sau chiar cu gradatii și mai detaliate.

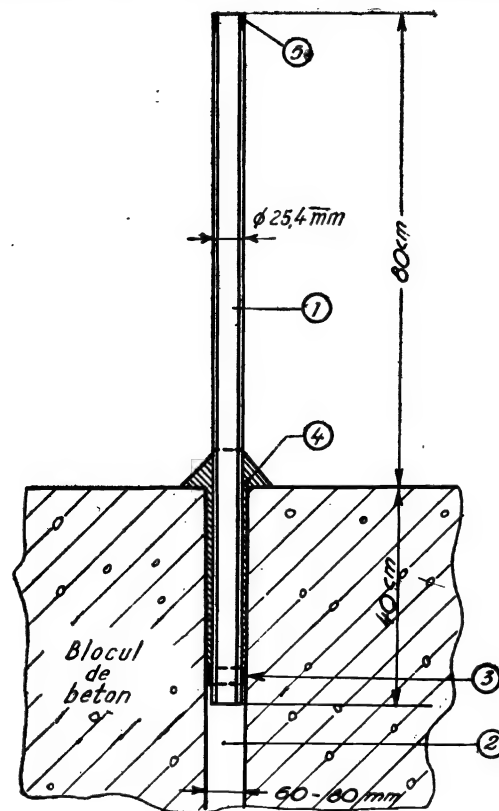


Fig. 146. — Instalarea tubului la un foraj pentru măsurarea subpresiunilor.

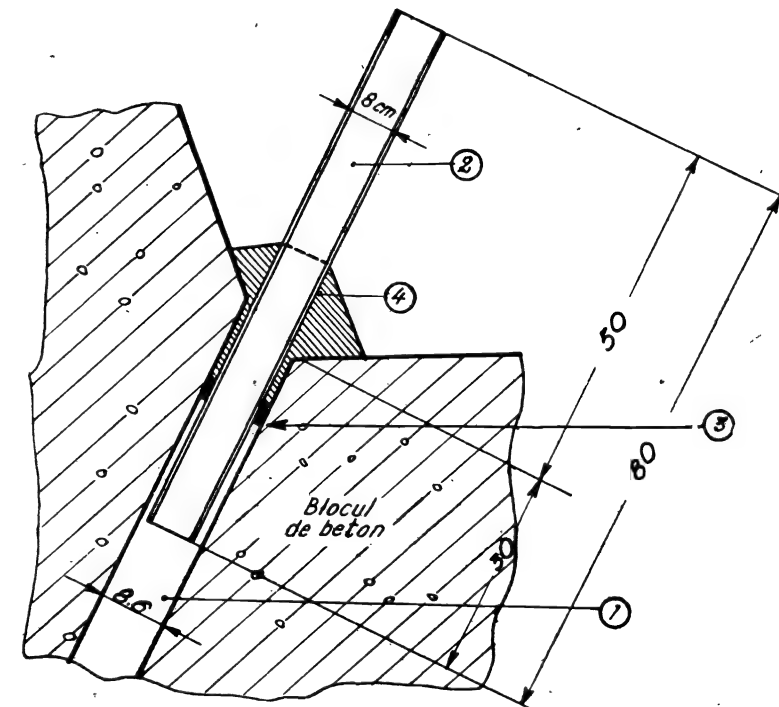


Fig. 147. — Instalarea tubului la drenuri pentru măsurarea subpresiunilor.

verticală, pentru a se avea posibilitatea de măsurare a nivelului apei cu ajutorul unor sonde fluier.

Adâncimea se citește pe panglica de măsurare de care este atârnată greutatea.

Prin aceasta ne convingem totodată că tubul piezometric sau gaura forată nu este astupată (la o betonare necorespunzătoare sau prin deteriorări la injectare).

§ 12. AMPLASAREA INSTALAȚIILOR DE SUBPRESIUNI

Instalațiile pentru observarea subpresiunilor (foraje, tuburi piezometrice etc.) se amplasează în modul următor: într-un șir continuu în spatele perdei de injecție (în lungul barajului), în secțiuni transversale și în drenuri.

La partea superioară a acestor foraje, în galeria de control, se îmbetonează un tub filetat la un capăt, la care vine înșurubat manometrul (fig. 146).

Tubul de oțel 1 are diametrul de 25,4 mm și lungimea de 120 cm și se introduce în forajul 2 pe o adâncime de circa 40 cm. La partea inferioară a tubului se prevede o

garnitură de cauciuc 3 pentru etanșare. Spațiul dintre tub și foraj se umple cu un mortar slab 4. Manometrul se prinde la capătul filetat 5.

c) Măsurarea subpresiunilor prin drenuri, se poate face, de asemenea, fără multe amenajări speciale (fig. 147).

În drenul respectiv 1 se introduce un tub de oțel 2, cu diametrul 80 mm și lung de circa 80 cm pe o adâncime de 30 cm. Se prevede și aici un sistem de etanșare 3. Spațiul dintre tub și dren se umple cu mortar slab 4. La partea superioară a tubului se prinde o reducție la care se pune manometrul.

Măsurarea subpresiunilor în galeriile de control se poate face folosind tuburi de sticlă cu diametrul maxim de 20 cm sau cu ajutorul unor manometre sensibile.

Manometrele sînt executate fie dintr-un metal inoxidabil, fie din fier obișnuit și sînt gradate în zecimi de atmosfere. O zecime de atmosferă reprezintă o coloană de apă înaltă de 1 m.

Manometrul este prevăzut cu un ventil, care permite scoaterea manometrului din funcțiune. Pe tot timpul cît nu se măsoară, manometrul se demontează, iar orificiul de presiune rămîne închis.

La montare, manometrul se înșurubează pe tubul piezometric, se deschide ventilul și se așteaptă un moment. Valoarea citită se trece într-un formular. Măsurarea trebuie efectuată întotdeauna simultan la întregul profil studiat.

Pentru citirea valorii subpresiunilor se recomandă a se utiliza manometre precise cu gradație de la 0 la 1,5 atm sau de la 0 la 2,5 atm sau chiar cu gradații și mai detaliate.

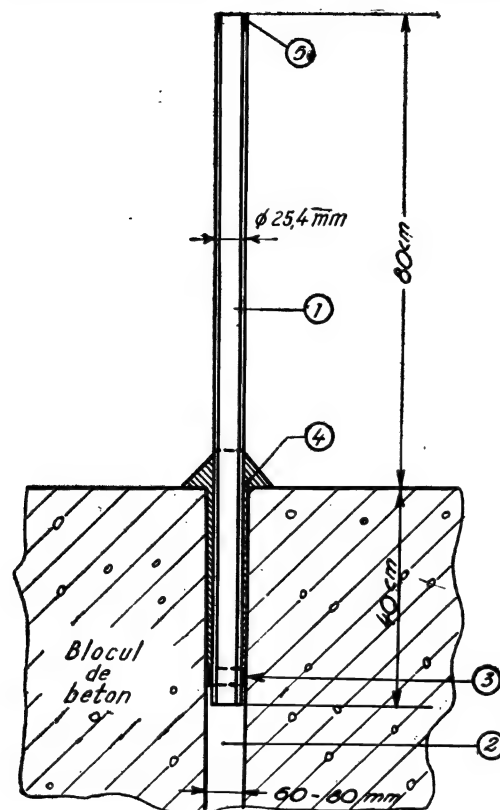


Fig. 146. — Instalarea tubului la un foraj pentru măsurarea subpresiunilor.

Manometrul nu indică decît presiunea coloanei de apă care se află deasupra punctului său de racord. La această valoare se mai adaugă și presiunea coloanei de apă dintre acest punct și recipientul colector. Dacă presiunea hidrostatică este mai mică decît presiunea acestei coloane de apă la manometru nu se înregistrează nimic. Din acest motiv se recomandă ca tuburile piezometrice sau găurile forate să aibă pe cît posibil o direcție

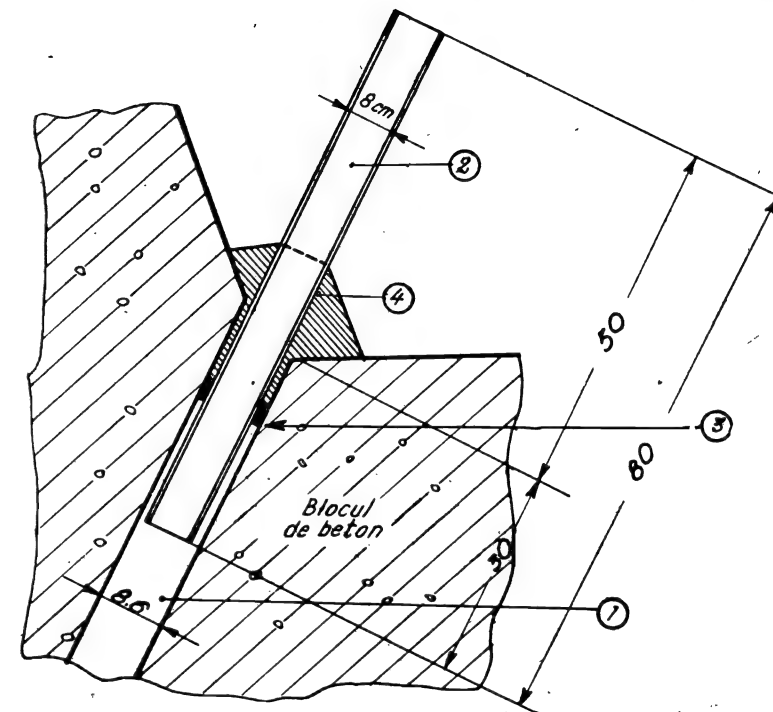


Fig. 147. — Instalarea tubului la drenuri pentru măsurarea subpresiunilor.

verticală, pentru a se avea posibilitatea de măsurare a nivelului apei cu ajutorul unor sonde fluier.

Adâncimea se citește pe panglica de măsurare de care este atârnată greutatea.

Prin aceasta ne convingem totodată că tubul piezometric sau gaura forată nu este astupată (la o betonare necorespunzătoare sau prin deteriorări la injectare).

§ 12. AMPLASAREA INSTALAȚIILOR DE SUBPRESIUNI

Instalațiile pentru observarea subpresiunilor (foraje, tuburi piezometrice etc.) se amplasează în modul următor: într-un șir continuu în spatele perdei de injecție (în lungul barajului), în secțiuni transversale și în drenuri.

În lungul barajului, instalațiile de subpresiuni sînt amplasate la distanță maximă de 15 m una de alta, ceea ce corespunde de obicei distanței dintre rosturile de dilatație, deci ar reveni cîte o instalație în mijlocul fiecărui bloc.

În profile transversale pe axa barajului se recomandă a se amplasa cel puțin trei instalații de observare a subpresiunilor.

În general se va urmări ca toate punctele suprafeței fundației care necesită o atenție deosebită să fie înzestrate cu instalații de subpresiuni.

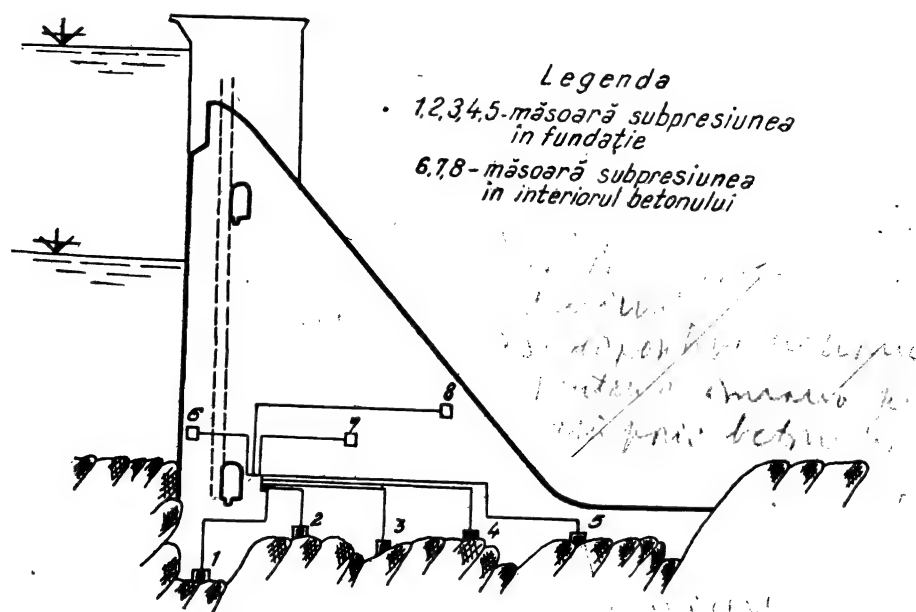


Fig. 148. — Repartiția tuburilor piezometrice pentru măsurarea subpresiunilor.

Printre aceste puncte sînt porțiunile de fundație cu fisuri mari, cu rosturi amplasate nefavorabil în fundație etc.

În figura 148 este dată schema generală de distribuție a tuburilor piezometrice pe rostul de fundație și în interiorul masivului de beton.

Recipientele colectoare 1, 2, 3, 4 și 5 măsoară subpresiunea pe fundație, iar recipientele 6, 7 și 8 măsoară subpresiunea în interiorul betonului. Totodată se arată și direcțiile tuburilor piezometrice pînă la stația de măsurători.

În figura 149 este dată schema de distribuție a forajelor într-un profil transversal al barajului, precum și diagrama subpresiunilor.

La amplasarea instalațiilor pentru observarea subpresiunilor precum și în timpul măsurării, se va ține seama de următoarele reguli:

— Forajele se vor executa după terminarea construcției din galeria inferioară a barajului, care în acest scop se va prevedea cu dimensiuni mai mari.

În acest caz se evită colmatarea forajelor prin torcretarea și injectarea fundației.

— Se va da o atenție deosebită ca în timpul betonării să nu se distrugă tuburile piezometrice, ceea ce se întîmplă mai ales la flanșe.

— În cazul cînd fundația are o stratificație ce se strînge în falii spre partea aval a barajului, atunci se va evita folosirea forajelor, care în acest caz transmit la suprafața stîncii subpresiuni mai mari decît în realitate și se vor folosi tuburi piezometrice cu recipiente colectoare.

— Stația de măsurători extremă așezată pe paramentul amonte poate fi așezată pînă la circa 1 m distanță de peretele exterior.

— În cazul cînd sînt utilizate manometre obișnuite de fier este necesar a se înzestra tuburile cu robinete și ventile. După măsurare, manometrele trebuie demontate, apa din ele scoasă și apoi depozitate în aer uscat.

— Funcționarea corectă a manometrelor trebuie controlată cu un manometru inoxidabil și precis.

§ 13. ÎNREGISTRAREA DATELOR

Valorile măsurate sînt rezultate definitive reprezentînd subpresiunile în locurile cercetate. Prelucrarea clară se face pe grafic, care va cuprinde pentru fiecare măsurare curba presiunii.

Această curbă, care reprezintă valorile indicate în manometru, la care se adaugă presiunea înălțimii deasupra mării a punctelor de racord dintre tubul piezometric și manometru, este curba presiunii hidrostatice în punctul respectiv.

Subpresiunile se determină:

- 1) cînd lacul este gol
- 2) pînă la jumătatea înălțimii de cădere $\frac{1}{2} H$ la fiecare 2 m
- 3) de la $\frac{1}{2} H$ și pînă la H , se determină pentru fiecare metru de apă acumulată în lac
- 4) determinarea subpresiunilor se va face de minimum 4 ori lunar.

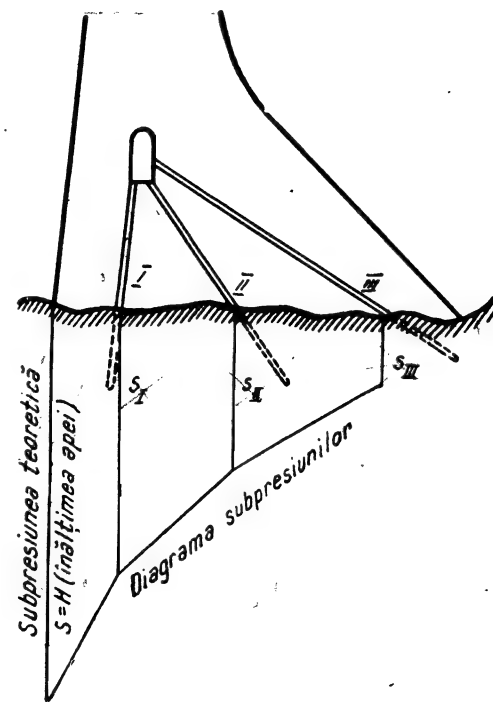


Fig. 149. — Repartiția forajelor pentru măsurarea subpresiunii.

Procedeul de funcționare, manipularea cu nivelul și cerințele pentru măsurare pe durată lungă, vor fi stabilite într-un plan tematic cerut.

§ 14. MĂSURAREA SUBPRESIUNILOR ÎN CONSTRUCȚIILE DE PĂMÎNT

În construcțiile de pământ, măsurarea subpresiunilor se face cu ajutorul indicatoarelor de presiune (celule piezometrice).

Indicatoarele de presiune sînt alcătuite din cutii închise din bronz sau alamă 1 (fig. 150 a).

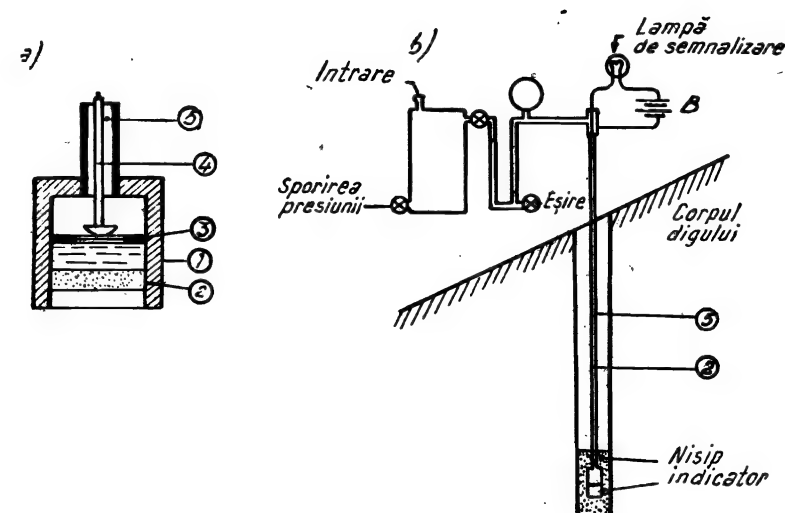


Fig. 150. — Indicatoare de presiune pentru apele infiltrate: a) schema cutiei indicatorului; b) schema unui indicator și măsurarea subpresiunii.

În aceste cutii apa infiltrată intră printr-un disc poros 2 și deformează diafragma 3, care prin intermediul conductorului electric 4 este legată la o lampă electrică de la suprafața barajului.

În corpul barajului, indicatoarele de presiune se montează într-un foraj (fig. 150 b) și se leagă de stația de măsurători prin tuburi piezometrice 5 ce au diametrul de 8–10 mm.

Pentru măsurarea subpresiunii se pompează apă prin tubul piezometric și se dă diafragmei o contrapresiune. În momentul când subpresiunea dată de apa infiltrată și presiunea exercitată de apa pompată se egalează, se taie contactul, lampa se stinge și manometrul ne indică valoarea subpresiunii.

În cazul când se cere subpresiunea în zona de fundație, se pot monta mai multe indicatoare de presiune în același foraj.

În acest caz se aruncă pietriș cu nisip în foraj pe circa 20–30 cm înălțime de la bază, se așază indicatorul de presiune peste care se pune

iarăși un strat de pietriș cu nisip de circa 20 cm înălțime și se toarnă deasupra mortar de ciment pînă la înălțimea celui de al doilea indicator de presiune, trăgîndu-se simultan tubul de foraj afară. Acest procedeu se repetă pînă se instalează toate indicatoarele de presiune.

Trebuie avut în vedere ca instalația să fie așezată la o suficientă adîncime, pentru a fi ferită de îngheț.

Protejarea împotriva înghețului prin umplerea sistemului de conducte cu o soluție specială nu se recomandă din cauza schimbării greutatei specifice.

Un alt sistem de indicatoare de presiune este cel prevăzut în figura 151 a, b și c.

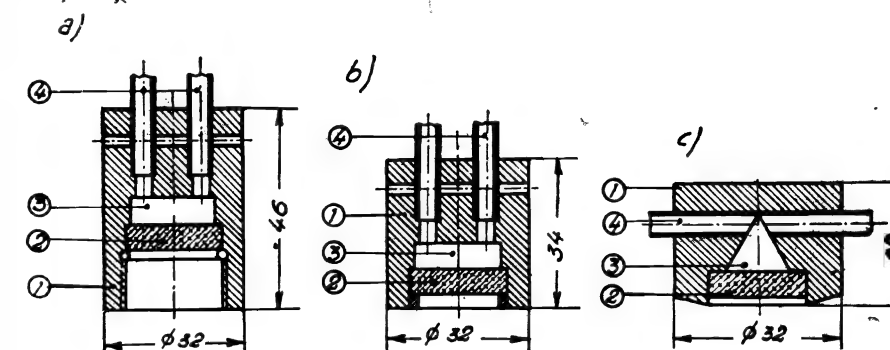


Fig. 151. — Indicatoare de presiune.

Cutia cilindrică din bronz 1 este prevăzută cu un disc poros 2. În camera 3 se termină cele două conducte de cupru 4, care sînt sudate la corpul indicatorului de presiune.

Cele două conducte formează un sistem comunicant de tuburi și duc la stația de măsurare. Fiecare capăt al conductei este înzestrat cu un robinet și un manometru. La începutul măsurării, tuburile se umplu cu apă. Cele două manometre cu resort trebuie să arate mereu aceeași presiune (în caz contrar instalația nu este în ordine).

Conductele trebuie așezate astfel încît aerul să se ridice spre punctul lor cel mai înalt, unde se prevede un sistem de aerisire.

Pentru măsurarea subpresiunii în zona de fundație este indicată execuția după figura 151 a. Când stația de măsurare se află sub amplasamentul indicatorului de presiune, se folosește execuția după figura 151 c. Montarea se face la fel ca la indicatoarele precedente într-o pungă de pietriș sau într-un bloc mic de beton poros.

D. MĂSURAREA CONȚINUTULUI DE APĂ ÎN BETON

§ 15. GENERALITĂȚI

Variația umidității betonului creează acestuia o stare de umflare sau de contracție. Variațiile de temperatură accentuează fenomenul de

contractie, care poate da naștere la fisuri, ce sînt puncte periculoase de infiltrație a apei.

Toate aceste fenomene arată importanța pe care trebuie să o acordăm cunoașterii calității și variației în timp a conținutului de apă la o construcție de beton.

Ceea ce se urmărește în practică prin astfel de măsurători este stabilirea gradului de uscare al betonului, după cum se vede din relația

$$G_u = \frac{G_s - G_t}{G_s} 100, \quad (125)$$

în care

G_u = gradul de uscare în procente,

G_s = greutatea totală a betonului saturat cu apă,

G_t = greutatea betonului într-un moment oarecare al procesului de uscare.

Umiditatea betonului se calculează după formula

$$U = \frac{G_t - G_0}{G_0} 100, \quad (126)$$

în care

U = umiditatea în procente,

G_t = greutatea probei la momentul t ,

G_0 = greutatea probei uscate pînă la greutate constantă.

§ 16. APARATELE PENTRU DETERMINAREA CONȚINUTULUI DE APĂ ÎN BETON

Printre aparatele folosite pentru determinarea conținutului de apă în beton sînt telehumetrele, umidimetrele etc.

1. Telehumetrul

Telehumetrul construit de Brasse y și livrat de firma Huggenberger permite măsurarea conținutului de apă în beton (fig. 152 și XXV).

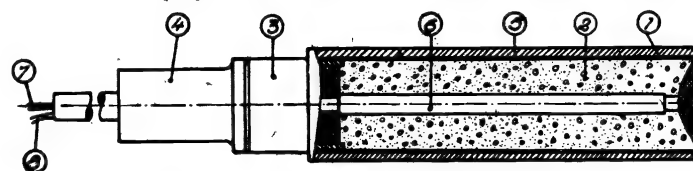


Fig. 152. - Secțiune prin telehumetru.

Aparatul se compune dintr-un tub cilindric 1, în interiorul căruia se găsește masa electrolițică 2 și cei doi electrozi 5 și 6.

În prelungirea tubului cilindric se găsește camera de racord 3 a cablului și camera 4 pentru fixarea cablului. În camera de racord 3 se face legătura conductorilor 7 și 8 cu cei doi electrozi 5 și 6.

Tubul de protecție 1 este confecționat dintr-un material asemănător mortarului, astfel încît schimbul de apă între beton și masa electrolițică 2 care reacționează la conținutul de apă să se poată face cu ușurință.

Aparatul se introduce în beton în stare saturată de apă. După introducerea aparatului începe schimbul de apă între aparat și beton pînă la atingerea echilibrului.

Desfășurarea procesului de uscare pe care-l indică un telehumetru amplasat în apropierea amonte a unui baraj se dă în figura 153.

Uscarea tinde asimptotic și destul de repede către valoarea de circa 2%. În punctul A intervine o inversare în procesul de uscare, care arată că nivelul apei din lac a atins înălțimea la care se află instalat aparatul.

În urma variației conținutului de apă din beton, se produce variația rezistenței masei electrolițice 2 (fig. 152), care se transmite aparatului indicator (fig. 151). Prin etalonare, se determină ce grad de uscare sau de umiditate corespunde fiecărui telehumetru.

Aparatul indicator este o punte portabilă prevăzută cu:

- un selector de tensiune 1, care permite conectarea la 110, 125, 150 și 220 V. Se folosește curent alternativ;
- o fișă 2 ce permite conectarea la rețea;
- un întrerupător 3 ce permite conectarea și deconectarea rețelei;
- două cleme 4 la care se conectează telehumetrul;
- o priză 5 ce permite conectarea la o cutie terminală cu mai multe puncte de măsurare;
- un întrerupător 6 ce închide și deschide circuitul curentului;
- două butoane 7 și 8 ce reglează două potențiometre puse pentru compensarea influenței temperaturii;

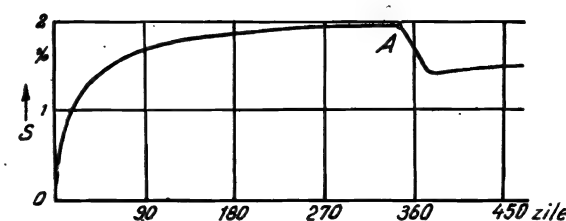


Fig. 153. - Exemplu de desfășurare a procesului de uscare.

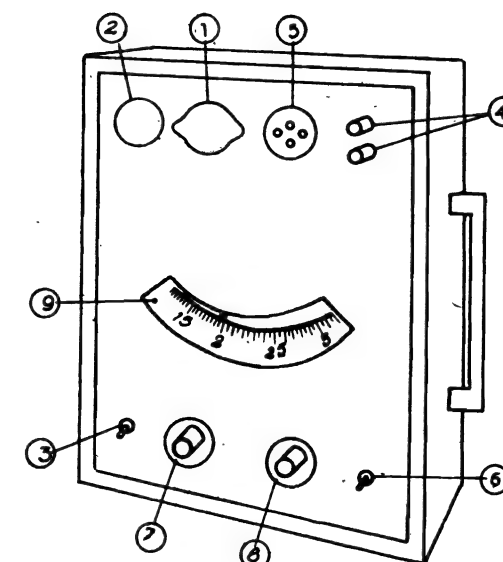


Fig. 154. - Aparat pentru înregistrarea indicațiilor date de telehumetre.

— un cadran 9 prevăzut cu diviziuni pentru citire.

Deoarece rezistența electrolică variază cu temperatura, aceasta trebuie să fie măsurată simultan în apropierea telehmetrului.

2. Umidimetrul

Umidimetrul este un aparat electric pentru măsurarea umidității. În general, aparatele electrice pentru măsurarea umidității se bazează pe următoarele metode:

- a) Metoda conductibilității în care se măsoară variația conductibilității electrice a corpurilor solide în funcție de umiditatea lor;
- b) metoda constantei dielectrice (capacitivă) în care se măsoară variația constantei dielectrice a corpului în funcție de umiditate;
- c) metoda pierderilor dielectrice;
- d) psihrometria electrică bazată pe măsurarea răcirii suprafeței umezite a corpului datorită evaporării apei de pe ea.

Aceste metode dau posibilitatea unei măsurări rapide a umidității și pot fi utilizate atât în laborator cât și pe șantier sau în industrie.

În Uniunea Sovietică acest studiu este extins pe o scară mare. Umidimetrul se bazează pe metoda conductibilității betonului, în practică el se confecționează în diferite mărimi și constă din două discuri de alamă cositorite pe cale electrolică și legate printr-un dielectric (tub de sticlă, tub de ebonit etc.).

Pe fiecare disc este sudat câte un conductor (sîrmă de cupru cositorită și izolată), ce face legătura aparatului cu o punte de măsurarea rezistenței în curent alternativ (de exemplu puntea Kohlrausch) instalată în stația centrală de măsurat.

Pentru interpretare, este necesar să se stabilească curbe de etalonare pentru fiecare sort de beton, stabilindu-se relația dintre rezistențele măsurate și umiditatea betonului.

Curbele sînt de forma unei hiperbole cu asimptotele paralele la axele de coordonate și a cărei ecuație este

$$U = \frac{a}{R} + b, \quad (127)$$

în care

- U = umiditatea betonului în procente,
- a și b = coeficienții ce depind de caracteristicile materialului,
- R = rezistența electrică în ohmi.

Curbele de etalonare se stabilesc în laborator prin cîntărirea probelor confecționate din același beton cu cel studiat și în care s-au instalat umidimetre.

Curbele se ridică atât în funcție de temperatură, cât și de vîrstă. În funcție de umiditatea aflată, se trece apoi la calcularea deformațiilor betonului.

Aparatul poate fi utilizat cu bune rezultate și la determinarea umidității agregatelor.

CAPITOLUL V

APLICAREA APARATELOR DE MĂSURĂ ȘI CONTROL DIFERITELOR CONSTRUCȚII MASIVE

§ 1. GENERALITĂȚI

În cele ce urmează se insistă asupra aparatelor și metodelor de lucru aplicate următoarelor lucrări masive:

baraje de beton
baraje de anrocamente
ecluze
galerii și tunele
castele de apă
conducte forțate.

În general, la toate construcțiile masive se urmărește:

- Să se stabilească starea de deformare bidimensională în plan și tridimensională în spațiu;
- Să se determine direcția și mărimea eforturilor interioare, principale și a eforturilor tăietoare;
- Să se stabilească prin aceste studii valoarea reală a coeficientului de siguranță a lucrării.

Se va căuta să se studieze întotdeauna porțiunile în care se presupune că apar cele mai mari solicitări. Fundația, talpa și picioarele construcțiilor, rosturile de dilatație și în special cele sezoniere, trebuie să formeze obiectul unor cercetări minuțioase.

Ca factor principal de care trebuie să se țină seama la îmbetonarea aparatelor de precizie este modul de utilizare al construcțiilor masive.

La baraje, de exemplu, altfel va lucra paramentul amonte, altfel paramentul aval și cu totul altfel betonul din interiorul masivului.

Fiecare lucrare masivă, fie baraj, tunel, ecluză etc. are indici caracteristici, care se oglindesc în felul instalației de măsurare adoptată.

§ 2. BARAJE DE GREUTATE

În vederea studierii stării plane sau spațiale a barajului, se introduc în interiorul blocului de beton stele sau rozete de teleformetre 1 (fig. 155)

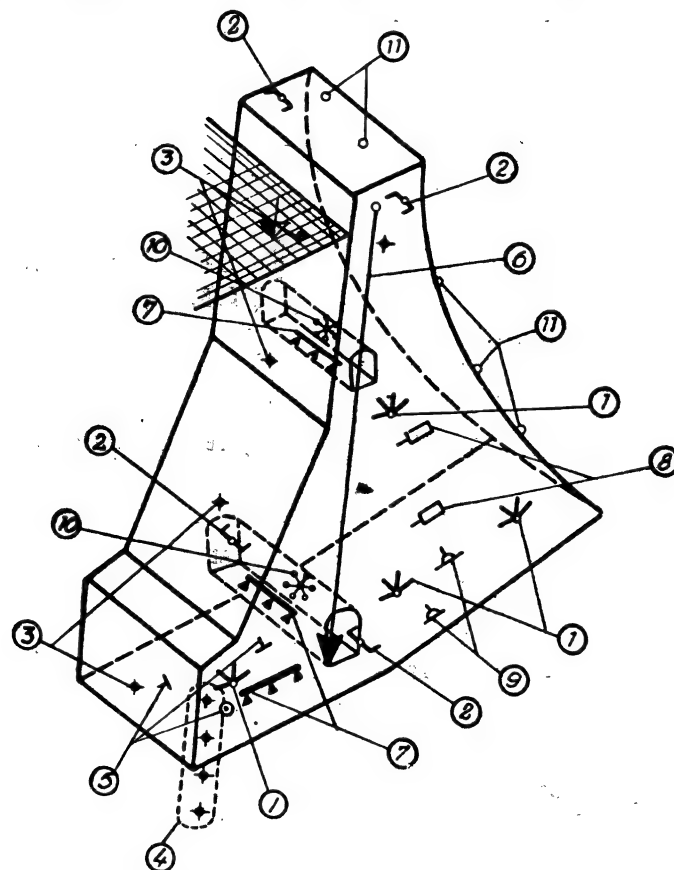


Fig. 155. — Schema de amplasare a aparatelor de control la un baraj de greutate.

Se va căuta întotdeauna ca numărul lor să permită verificarea valorilor măsurate.

Pentru a executa o analiză a deformațiilor, este important de știut dacă și în ce fel blocurile de beton sînt influențate între ele. De aceea, trebuie să se prevadă în rosturile de dilatație dilatometre 2 care să ne poată indica deformațiile la care sînt supuse aceste rosturi.

Atît zonele marginale cît și interiorul unui baraj, prezintă întotdeauna un mare interes în ceea ce privește temperatura, dilatațiile și presiunile. În acest scop, pe paramentul amonte se montează teletermo-

metrele 3 pentru măsurarea temperaturii apei din lacul de acumulare. Pierderea căldurii prin fundație este indicată de teletermometrele 4. Valoarea presiunilor este indicată de telepresmetrele 5.

Observarea încovoierii axei verticale a barajului se face prin măsurarea deplasărilor pe orizontală cu ajutorul instalației pendulare 6.

O completare pentru stabilirea încovoierii o dă măsurarea înclinării tangentei, cu ajutorul clinometrului 7.

Pentru clarificarea numeroaselor probleme de variație a conținutului de apă în beton precum și a infiltrațiilor, se folosesc umidimetre sau telehumetre 8 și piezometre 9.

Clarificarea situației deformațiilor și completarea observațiilor asupra mișcării rosturilor de dilatație în părțile accesibile se face cu ajutorul deformetrului 10.

Măsurătorile geodezice, destinate determinării deformațiilor absolute ale barajului, se leagă de construcție prin reperele 11, fixate pe coroanamentul și paramentul aval al barajului.

Pentru aprecierea integrală a rezultatelor obținute prin măsurătorile de deformații, se impune și determinarea începutului și sfîrșitului prizei în masa betonului.

Cunoașterea raportului dintre procesul prizei și degajarea de căldură, precum și cunoașterea fazelor acestui proces ajută la interpretarea corectă a deformațiilor.

Determinarea începutului și sfîrșitului prizei în masa betonului se face prin măsurarea rezistenței electrice a betonului proaspăt pus în lucru.

Pentru buna reușită a măsurătorilor, se va ține seama de următoarele considerente :

În starea pe care o are masa de beton proaspăt turnată, pînă în momentul întăririi betonului, electricitatea nu are nici o influență dăunătoare asupra betonului. Betonul întărit prezintă o rezistență electrică relativ mare, care scade cu gradul de umiditate al betonului, fiind funcție și de rezistența sa chimică și variind după o hiperbolă asimptotică la axele de coordonate.

Rezistențele betonului nu sînt influențate de curenții electrici ce trec prin masa lui.

Determinarea începutului și sfîrșitului prizei în masa betonului s-a făcut cu bune rezultate în Uniunea Sovietică (barajul Dineprostroi etc.).

★

Lucrările masive de la noi din țară impun folosirea aparatelor de măsură în interiorul construcțiilor, atît pentru verificarea ipotezelor folosite în calcul, cît și pentru cîștigarea de experiență pentru lucrările masive viitoare.

În figura 156 se redă în mod schematic modul de amplasare al teleformetrelor dispuse în stea în interiorul unui baraj prevăzut în planul de electrificare.

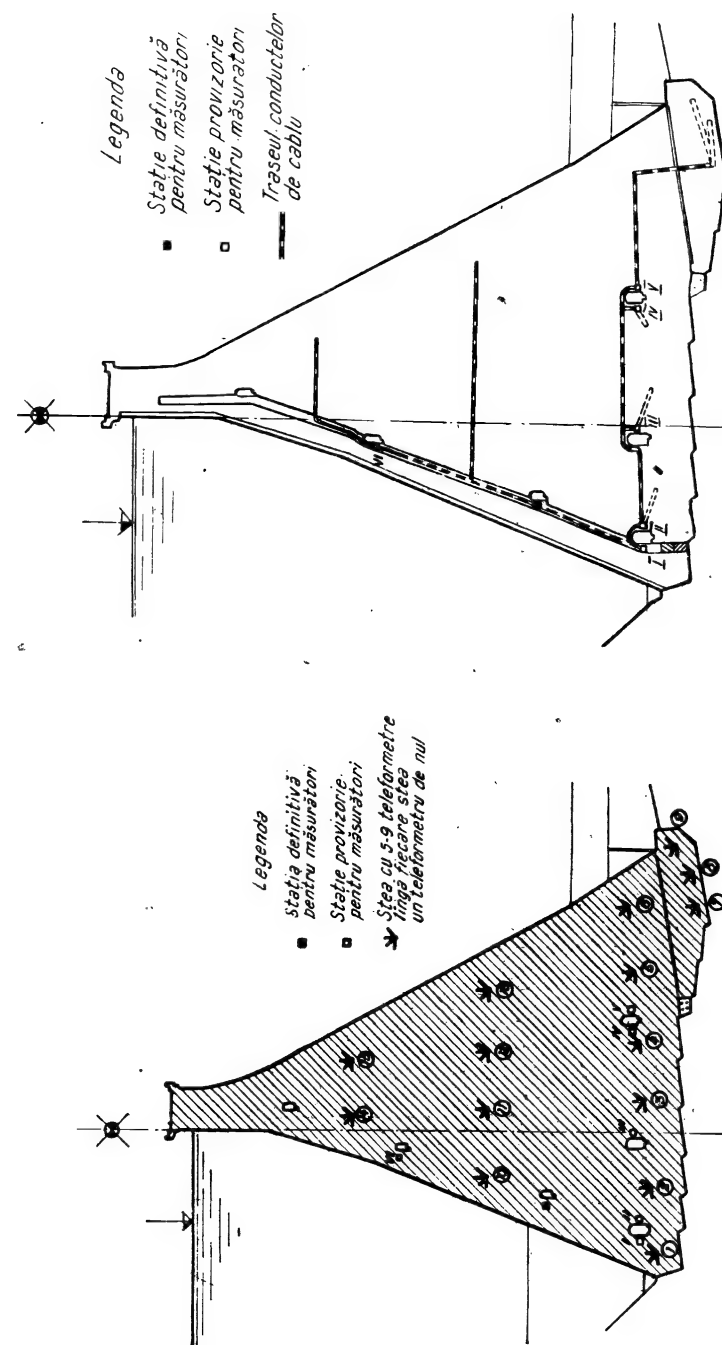


Fig. 156. - Amplasarea teleformetrelor în stea în blocul barajului (secțiune transversală).

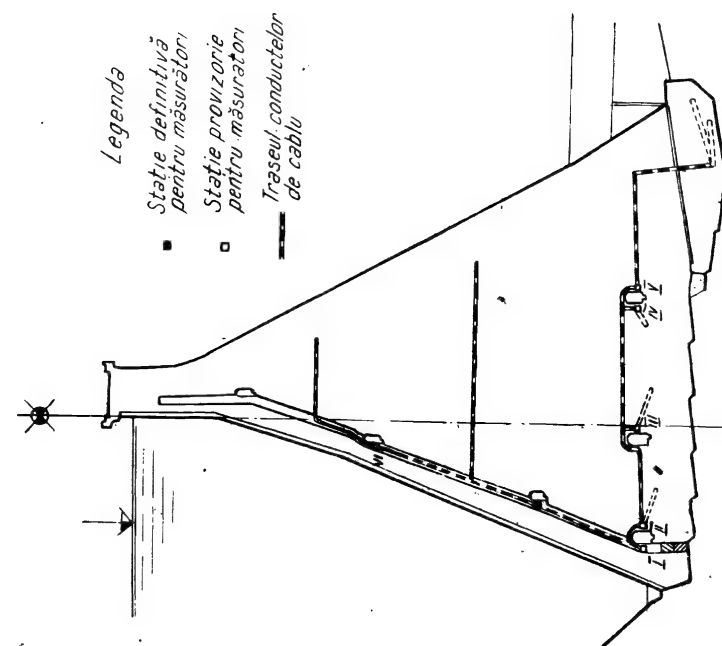


Fig. 157. - Traseul conductelor de cablu ale formelor de lucru spre stația definitivă de măsurători.

Formele de lucru în stea sînt dispuse într-un profil transversal, în care s-a presupus apariția celor mai mari eforturi, pe trei rînduri, astfel încît cu un minimum de aparate să fie acoperită întreaga suprafață.

Totodată s-a avut în vedere ca amplasarea să se facă astfel încît să permită, prin calcul, extinderea deformațiilor în întreg blocul de beton.

În pîntenul din aval s-a prevăzut, de asemenea, trei stele pentru înregistrarea deformațiilor.

Pentru eliminarea deformațiilor volumetrice libere, lângă fiecare formă de lucru s-a instalat cîte un teleformetru de nul, iar pentru eliminarea deformațiilor provenite din curgerea lentă și pentru aflarea modului de elasticitate, s-au introdus instalațiile necesare în interiorul betonului în apropierea galeriilor de control.

Cablurile aparatelor sînt conduse prin canale (fig. 157) pînă la stațiile provizorii de măsurat I—VI.

O dată cu ridicarea blocului, cablurile sînt conduse prin canalele proiectate în rostul de dilatație al blocului pînă la puțul de control, în care s-a prevăzut o nișă specială pentru conducerea cablurilor la stația definitivă de măsurători, amplasată în galeria de control.

Măsurătorile trebuie începute o dată cu îmbetonarea aparatelor.

§ 3. BARAJE DE ANROCAMENTE

Barajele de anrocamente prezintă de obicei următoarele deformații :

- tasări,
- deplasări pe orizontală în direcția biefului aval,
- deplasări pe orizontală laterale,
- fisuri,
- infiltrații de apă prin ecranele impermeabile etc.

Aceste deformații depind de mai mulți factori ca :

- condițiile executării lucrărilor ;
- particularitățile constructive ale barajului ;
- panta taluzelor ;
- mărimea supraîncărcărilor ;
- componența, forma și rezistența pietrei ;
- alunecarea pietrelor una peste alta în funcție de compactitatea barajului ;
- calitatea fundațiilor etc.

În afară de tasarea generală a fundațiilor, corpul barajului de anrocamente dă o tasare proprie, de care depinde modul de lucru al ecranului impermeabil. Această tasare este datorită atât acțiunii greutății proprii, cît și presiunii apei pe ecran.

Deplasările pe orizontală în direcția biefului aval depind direct de presiunea apei din lacul de acumulare exercitată pe ecranul impermeabil.

Deplasările laterale în lungul barajului se produc în direcția tasărilor maxime, adică spre locul unde defileul are adîncimea cea mai mare.

Din literatură rezultă că deplasările pe orizontală, cele laterale, cât și cele în direcția biefului aval, au atins uneori 20 cm.

Toate acestea arată importanța ce trebuie acordată studiului deformațiilor în barajele de anrocamente.

În figura 158 se dă o secțiune transversală printr-un baraj de anrocamente construit în Uniunea Sovietică.

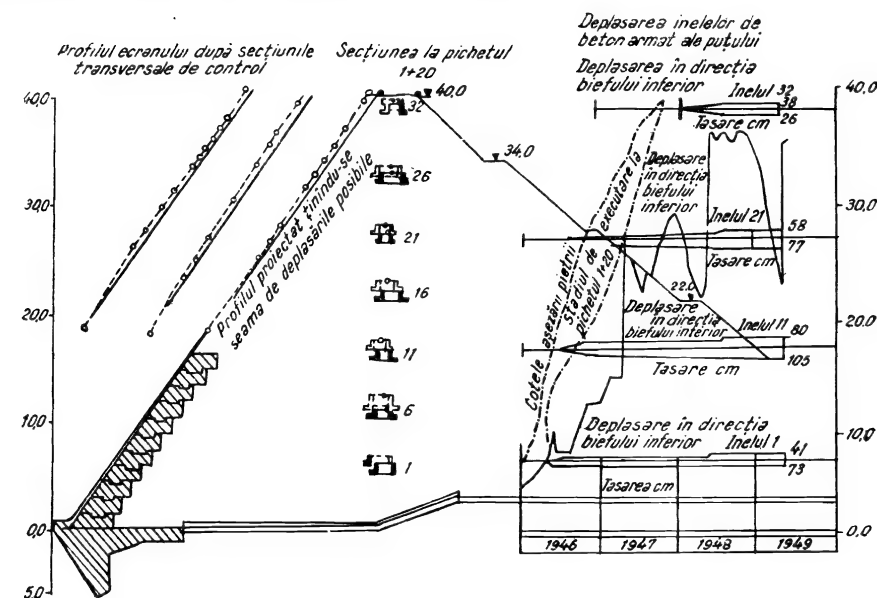


Fig. 158. — Deformația barajului de anrocamente.

La acest baraj măsurarea deformațiilor a început o dată cu construirea lui. Tasările s-au măsurat în diferite puncte, pe repere provizorii făcute pe pietre de dimensiuni mari.

După terminarea profilelor complete, măsurătorile de control s-au făcut pe repere permanente dispuse în opt profile perpendiculare pe axa barajului și în opt profile paralele cu axa barajului.

Tasările și deplasările ecranului impermeabil, coronamentului și bermelor taluzului aval s-au măsurat pe repere de suprafață, de tipul barelor metalice gradate.

Deformațiile rosturilor de dilatație s-au măsurat cu ajutorul scoabelor.

Barajul a mai fost prevăzut cu repere hidraulice de adâncime, formate din tuburi înclinate așezate în corpul barajului. Capătul tubului din corpul barajului este îndoit în sus și constituie reperul propriu-zis, iar celălalt capăt iese în taluzul inferior fiind prevăzut cu un ajutor la care se conectă vasul de măsură.

În timpul măsurării tubul se umple cu apă prin acest vas și după nivelul ce se stabilește în el se determină nivelul reperului.

În corpul barajului s-a prevăzut un puț din beton armat prefabricat, compus din inele cu diametrul de 150 cm și înălțimea de 100 cm. Placa de beton la fundul primului inel inferior servește drept reper de adâncime.

În pereții inelelor 11 și 21 (fig. 158) sînt încastrate bucăți de fier de profil U, care servesc de asemenea drept repere de adâncime. De fiecare reper este fixat un tub prelungit pînă la inelul superior.

Puțul este astfel construit încît să admită deplasarea diferitelor inele, acest lucru permițînd ca pe lângă măsurarea după repere să se facă observație și asupra deplasării inelelor.

În figura 158 linia punctată indică situația inițială a reperelor de suprafață și a inelelor.

Datele observațiilor asupra tasărilor și deplasării inelelor puțului prefabricat în direcția biefului aval sînt trecute de asemenea în diagrama din figura 158, în care totodată sînt arătate oscilațiile nivelului din rezervorul de apă și curbele creșterii zidăriei de piatră și a ecranului în timpul construirii barajului.

§ 4. ECLUZE

Din punct de vedere constructiv, ecluza este formată din capetele ecluzei și din pereții ecluzei, împreună cu radierul.

Capetele au destinația de a rezista forțelor hidrostactice exercitate de presiunea apei, iar pereții, în cazul că au o poziție paralelă cu malurile,

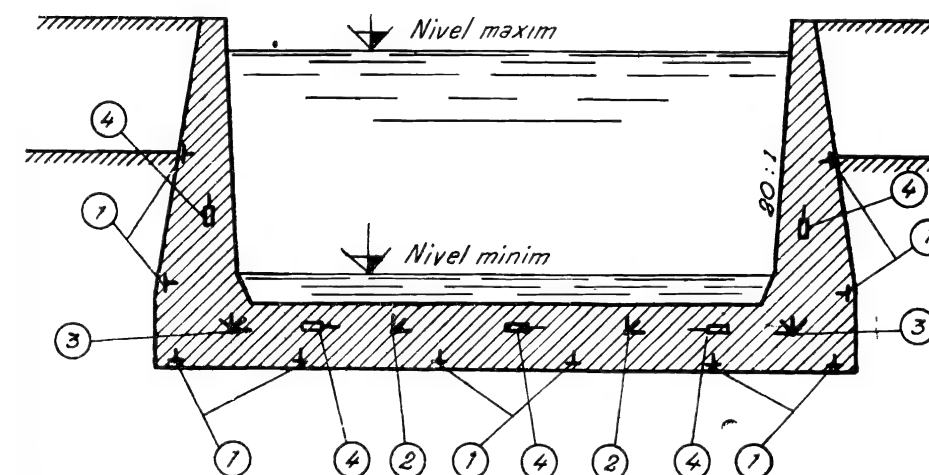


Fig. 159. — Schema de instalare a aparatelor de măsură și control într-o ecluză.

preiau presiunea pământului și a apelor de infiltrație, iar cînd sînt așezați în rîu, preiau presiunea forțelor hidrostactice dinspre rîu.

Controlul și măsurarea deformațiilor au tocmai rolul de a vedea modul de distribuție a eforturilor interioare datorite forțelor exterioare

de a vedea dacă radierul și bajoaierele asigură o impermeabilitate suficientă, dacă nu sînt erodabile și dacă întreg ansamblu prezintă, în timpul exploatarei, un coeficient mărit de siguranță.

În figura 159 este dată o schemă de instalare a aparatelor de măsură și de control în cazul unei ecluze.

În vederea dărmării presiunii exercitate de pămînt asupra ecluzei, se pot instala dinamometre acustice sau telepresmetre 1, care ne dau totodată posibilitatea de a măsura și temperatura.

Starea plană și spațială de eforturi o stabilim cu ajutorul teleformetrelor dispuse în forme de lucru în rozete 2 și în stea 3.

Tabloul stării deformațiilor se completează cu studiul conținutului de apă în beton determinat cu ajutorul telehmetrelor 4.

§ 5. GALERII ȘI TUNELE

Calculul static al galeriilor și tunelurilor este destul de complicat și insuficient de bine stabilit, datorită valorilor nedeterminate ale forțelor și reacțiunilor care acționează asupra construcției.

Fără a nega utilitatea continuării cercetărilor pe cale teoretică și în laborator, se poate afirma totuși cu destulă exactitate că numai pe calea experimentării în timpul execuției tunelurilor, pe dimensiuni apropiate de cele reale, se pot obține rezultate suficient de exacte.

Printre principalele probleme care trebuie studiate experimental sînt :

- 1) Determinarea presiunii litostatice asupra sprijinirilor din săpăturile subterane.
- 2) Infiltrațiile de apă subterane, precum și permeabilitatea la apă a muntelui.
- 3) Elasticitatea și rezistența rocii.
- 4) Capacitatea de deformare a muntelui.
- 5) Verificarea comportării cămășuielii de beton a tunelului și determinarea valorică a deformațiilor radiale.
- 6) Funcționarea în bune condiții a rosturilor transversale ale cămășuielii.
- 7) Amplasamentul și traseul fisurilor, atît a celor de suprafață cît și a celor de adîncime.
- 8) Tasarea inelelor de lucru.
- 8) Calcularea valorii exacte a coeficientului de tasare specifică — elastică (K_0).

Cunoașterea primelor patru probleme ne dă posibilitatea de a aprecia dacă :

- este nevoie de cămășuială,
- de care tip trebuie să fie,
- cum trebuie să fie executată.

Asupra modului de funcționare a căptușelilor influențează în mod esențial caracterul și proprietățile rocii înconjurătoare ca de exemplu,

— coeficientul de soliditate al rocii (notat cu f după M. M. Protopodionov);

— coeficientul de tasare specifică-elastică (K_0).

O dată cu creșterea presiunii hidrostatice interioare, funcționarea căptușelii se înrăutățește.

O parte din presiune este preluată de căptușeală, iar o parte din presiune este transmisă asupra rocii, care se deformează corespunzător.

Prof. M. M. Grișin arată că, dacă deformația rocii depășește 0,5—1 mm, va trebui ca pentru presiunile mari să se aleagă căptușeli de o calitate superioară, din oțel, care să preia în întregime presiunea hidrostatică, fără participarea rocii înconjurătoare.

Variațiile de temperatură, manifestate prin răcirea rocii datorită temperaturii apei ce a umplut galeria, dau solicitări suplimentare în căptușeala tunelurilor.

Apar deformații din compresie care provoacă mărirea diametrului escavației precum și un fel de desfacere a rocii de căptușeală, ceea ce duce la solicitări suplimentare în căptușeală.

La diferențe mari de temperatură, solicitările la întindere pot atinge 10—20 % din cele principale.

În urma experiențelor cîștigate, în Uniunea Sovietică, presiunea litostatică a sprijinirilor din săpăturile subterane se determină cu ajutorul dinamometrelor cu indicator ce vin introduse în spațiul dintre extradusul cămășuielii de beton și roca înconjurătoare (fig. 160).

Discurile metalice ale dinamometrelor (fig. 160) se sprijină pe stâlpii cercetați, cu ajutorul penelor sau cu bucăți de lemn rotund.

Aparatele se repartizează atît în lungul longrinelor 1 cît și sub barele de distanțare ale sprijinirilor 2.

Numărul de aparate ce se repartizează unei longrine depinde de lungimea ei, precum și de eforturile date de presiunea litostatică presupusă a fi preluate de ea.

Pentru executarea măsurărilor, se prevăd deschizături de 70—80 cm lățime ce se lasă la betonare în bolta cămășuielii (fig. 161). Prin aceste deschizături 2 accesul la dinamometrele 1 este asigurat.

Metoda aceasta de montare a aparatelor în spațiul din spatele căptușelii de beton satisface și cerințele tehnicii securității muncii.

Infiltrațiile de apă, impermeabilitatea, traseul fisurilor, tasarea inelelor se face prin metodele descrise.

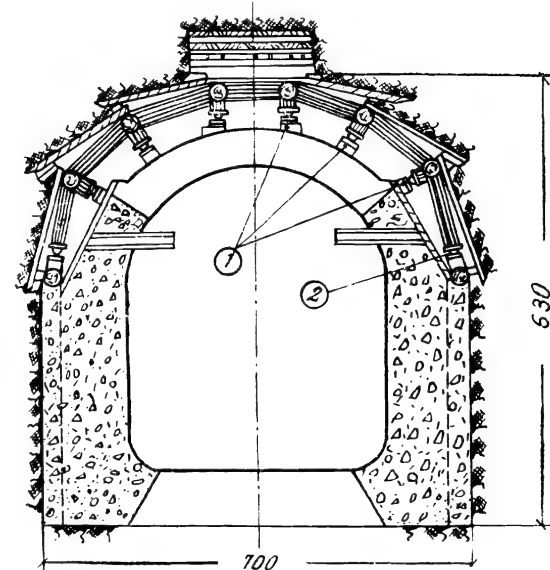


Fig. 160. — Schema de așezare a dinamometrelor pentru măsurarea presiunii litostatice.

În ceea ce privește determinarea deformațiilor radiale ale galeriei, încercările trebuie făcute :

- direct pe rocă,
- pe căptușeala de beton exterioară,
- pe inelul interior,
- pe blindajul din tola de oțel.

Încercările se pot face și în galerii experimentale, special construite, fie lateral din galeria principală fie într-o fereastră de atac, în cazul când este vorba de aceeași rocă, dar se recomandă să se aleagă dimensiuni cât mai apropiate de cele reale.

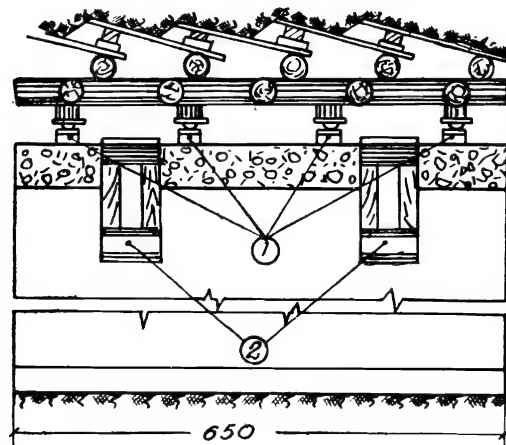


Fig. 161. — Secțiune longitudinală prin porțiunea experimentală a tunelului.

În funcție de lungimea galeriei și de stratificarea rocilor, se instalează 2—4 secțiuni de măsurare.

Numărul de secțiuni de măsurare depinde de :

- stratificația și felul rocii,
- numărul de aparate disponibile.

În cazul că galeriile de aducțiune traversează formații de rocă diferite, trebuie prevăzute mai multe distanțe de încercare. Se recomandă ca instalațiile de măsurare să fie montate la unghiuri față de orizontală :

30, 45, 60 și 90° (fig. 162).

Acest lucru permite interpretarea mai ușoară a deformațiilor și calcularea eforturilor corespunzătoare.

În fiecare secțiune de măsurare se prevăd doi suportți și pe fiecare suport cite o doză emițătoare.

Distanțele de încercare se limitează prin doi pereți din beton armat sau capace din oțel turnat.

Într-unul din pereți, care de fapt este un dop de beton, se pune o garnitură metalică ce permite vizitarea galeriei de încercare.

Tot în acest dop se mai montează :

- conducta prin care apa este pompată în galerie,
- conducta de aerisire,
- un manometru pentru înregistrarea presiunii,
- conducta pentru evacuarea apei din galerie,
- un preaplin.

În fața dopului de beton se amenajează un bazin prevăzut cu un deversor triunghiular pentru măsurarea cantității de apă infiltrată prin beton.

În felul acesta se obțin date prețioase privind stabilirea tipului de cămășuială, armătura necesară etc., cu alte cuvinte date pentru construirea mai economică a tunelului.

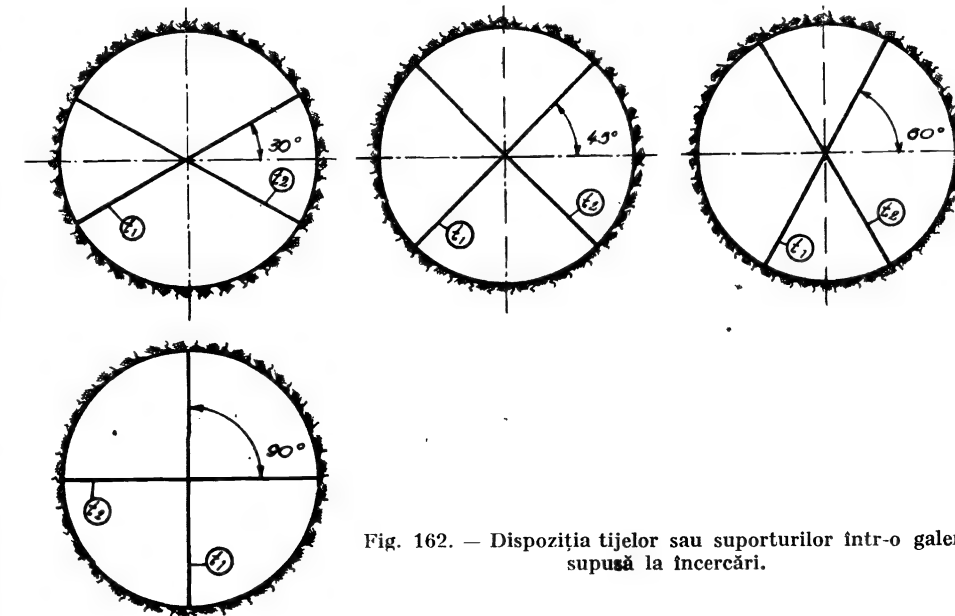


Fig. 162. — Dispoziția tijelor sau suporturilor într-o galerie supusă la încercări.

§ 6. CASTELE DE APĂ

De multe ori castelul de apă, prin dimensiunile ce le are, fără să mai vorbim de influența pe care o exercită asupra funcționării uzinei hidroelectrice, constituie o problemă tehnică foarte delicată.

În cazul când castelul de apă este complet îngropat în teren (fig. 163) clarificarea numeroaselor probleme ca :

— alura eforturilor interioare ce iau naștere în pereții de beton ai castelului ;

— variația conținutului de apă în beton ;

— variația temperaturii și trecerea căldurii, degajată prin exotermia cimentului, în rocă ;

— valoarea presiunilor exercitate asupra construcției etc. ;

permite :

— verificarea ipotezelor folosite în calculul static,

— proiectarea și executarea mai economică a lucrărilor similare viitoare,

— stabilirea coeficientului de siguranță a lucrării,

— preîntîmpinarea eventualelor avarieri, prin luarea la timp a măsurilor necesare.

La castelul de apă din figura 163 s-a prevăzut a se instala în trei secțiuni AA' , BB' și CC' aparate care să înregistreze valorile căutate

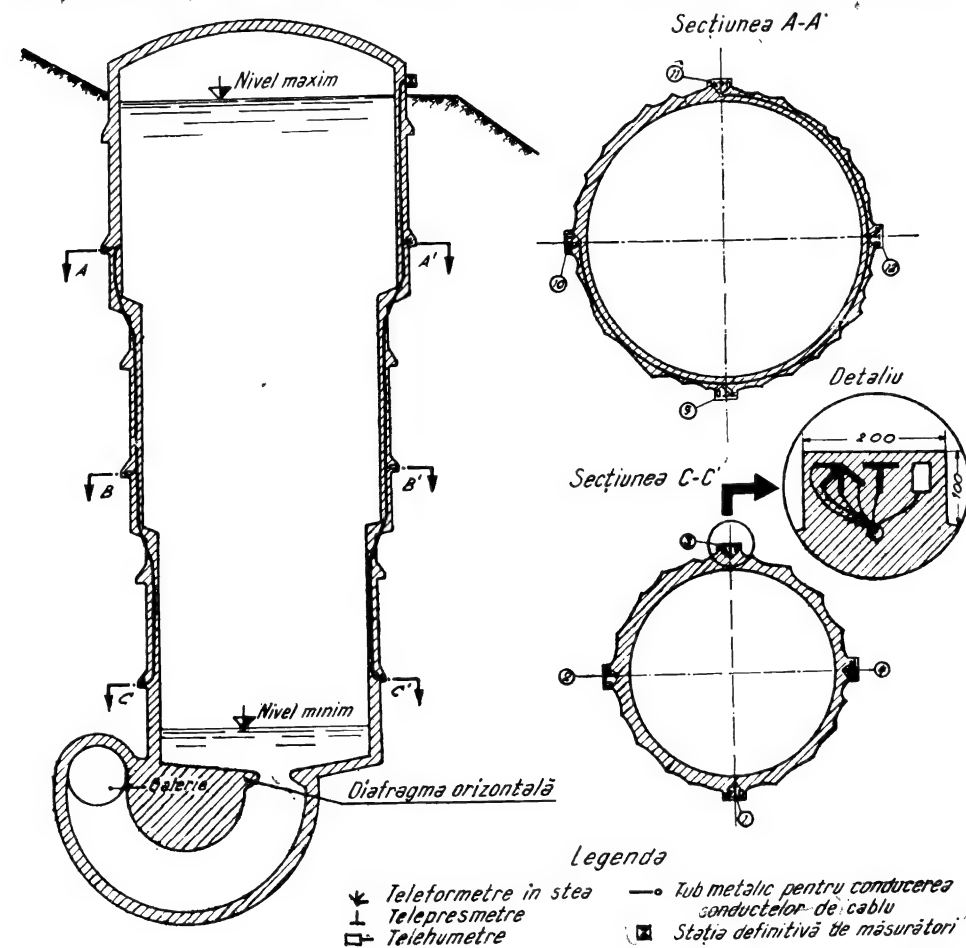


Fig. 163. — Schema de amplasare a aparatelor de control la un castel de apă.

(secțiunea BB' fiind identică cu secțiunea CC' , s-a renunțat de a se mai desena).

În fiecare secțiune s-au instalat câte patru cîmpuri de măsurare, deci în total pe întreaga lățime a castelului sînt 12 cîmpuri de măsurare.

Fiecare cîmp este prevăzut cu câte o stea de teleformetre pentru determinarea spațială a direcției și mărimii tensiunilor principale și a eforturilor tăietoare. Determinarea presiunilor se face cu dinamometre

acustice sau telepresmetre, amplasate câte unul în fiecare cîmp de măsurare.

Prin modul lor de execuție, atît teleformetrele cît și telepresmetrele permit și determinarea variației temperaturii în pereții de beton.

Tabloul deformațiilor produse în pereții castelului de apă, se completează prin observarea simultană a variației conținutului de apă în beton prin intermediul telehumetrelor.

Conductele de cablu ale aparatelor din fiecare cîmp de măsurare sînt legate împreună și sînt conduse prin tuburi la stația definitivă de măsurători.

Trecerea tuburilor se face prin cîmpurile corespunzătoare fiecărei secțiuni, pînă la secțiunea AA' unde, conform desenului, toate cablurile sînt adunate și, printr-un tub comun, sînt duse pînă la stația de măsurători, amplasată la suprafața terenului, fie în sala de manipulare a vanelor, fie într-un loc accesibil și nesupus accidentelor.

În detaliu se dau dimensiunile unui cîmp de măsurare de 200×100 cm, precum și poziția pe care o ocupă aparatele în interiorul cîmpului.

§ 7. CONDUCTE FORȚATE

Regimul special de funcționare la care sînt supuse conductele metalice forțate cere un control serios și permanent mai ales în procesul de exploatare.

Trebuie dată o atenție deosebită următorilor factori:

- tasările în lungul conductelor,
- deformațiile tolei metalice,
- deformațiile radiale ale conductei.

Unei conducte metalice sub presiune trebuie să-i fie asigurată o funcționare neîntreruptă, aceasta și în cazul unei eventuale tasări a reazemelor. Pentru normalizarea funcționării în cazul unor tasări mari a reazemelor (masive de ancoraj, reazeme pe role etc.), conductele trebuie înzestrate cu compensatoare de tasare și dilatație.

În Uniunea Sovietică s-a studiat această problemă și s-a dovedit că cele mai adecvate în acest scop sînt compensatoarele de tasare și dilatație de tipul presgarniturilor care se calculează inițial pentru tasările presupuse.

Plasarea lor cea mai bună este următoarea:

În stînga masivelor de ancoraj (considerînd stînga spre casa vanelor) se instalează compensatoare de dilatație și tasare, iar în dreapta reazemelor se instalează compensatoare de tasare.

Compensatoarele de tasare și dilatație se mai instalează la casa vanelor și la priza de apă.

Diferența între aceste compensatoare constă în faptul că la compensatorul de tasare ambele reazeme sînt fixe, pe cînd la celălalt există o articulație mobilă.

Schema de funcționare a compensatoarelor de tasare și a celor de tasare și dilatație rezultă din figura 164.

În figura 164 conducta forțată 1 este prinsă în masivul de ancoraj 2 și 3 și înzestrată cu compensatorul de tasare 4, prevăzut cu două articulații fixe 4' și 4'' și compensatorul de tasare și dilatație 5, prevăzut cu o articulație fixă 5' și una mobilă 5''.

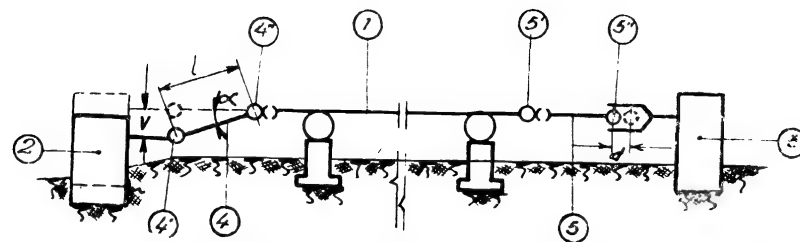


Fig. 164. — Schema de lucru a compensatoarelor de tasare și a celor de tasare și dilatație.

Prin tasarea masivului de ancoraj 1, articulația 4' coboară o dată cu masivul sau cu reazemul intermediar cu distanța V . Compensatorul de tasare se înclină față de poziția inițială cu unghiul α .

Deplasarea de translație a articulației 4'' provoacă o rotire în jurul ei a mufei plutitoare 4 și, prin urmare, deplasarea în articulația mobilă 5'' pe direcția longitudinală cu valoarea d , ceea ce duce la deplasarea întregii conducte.

Valoarea deplasării d este dată de ecuația

$$d = l (1 - \cos \alpha). \quad (128)$$

Deformațiile tolei metalice se măsoară cu ajutorul deformetrului.

Cu ajutorul pieselor accesorii ale deformetrului — distanțierul cu două chernere, burghiul spiral și alezorul — se practică în tola metalică găuri în care se instalează socluri metalice, pe care se așază reazemele A și B ale deformetrului (fig. 33).

Prin citiri periodice se obțin alungirile specifice ϵ , din care se calculează apoi eforturile ce apar în tola metalică.

Deformațiile radiale ale conductelor metalice forțate se determină cu ajutorul tensometrelor electroacustice, special construite, ce vin sudate în interiorul conductelor de examinat (fig. 165 a și b).

Tensometrul electroacustic 1 (fig. 165 a) este prevăzut cu o coardă de vibrație 2, de lungime $l = 15$ cm, ce este pusă în stare de vibrație cu ajutorul electromagneților 3.

Legătura aparatului cu puntea de măsurare se face prin cablul 4. Pentru ca aparatul să nu fie strivit din cauza presiunii exterioare a apei prea mari, prin tubul de cupru 5 se introduce în interiorul aparatului o contrapresiune corespunzătoare presiunii apei din conductă.

Tensometrul electroacustic 1 se sudează de peretele interior al conductei forțate 7 prin intermediul bulonului 6. Celălalt capăt al aparatului

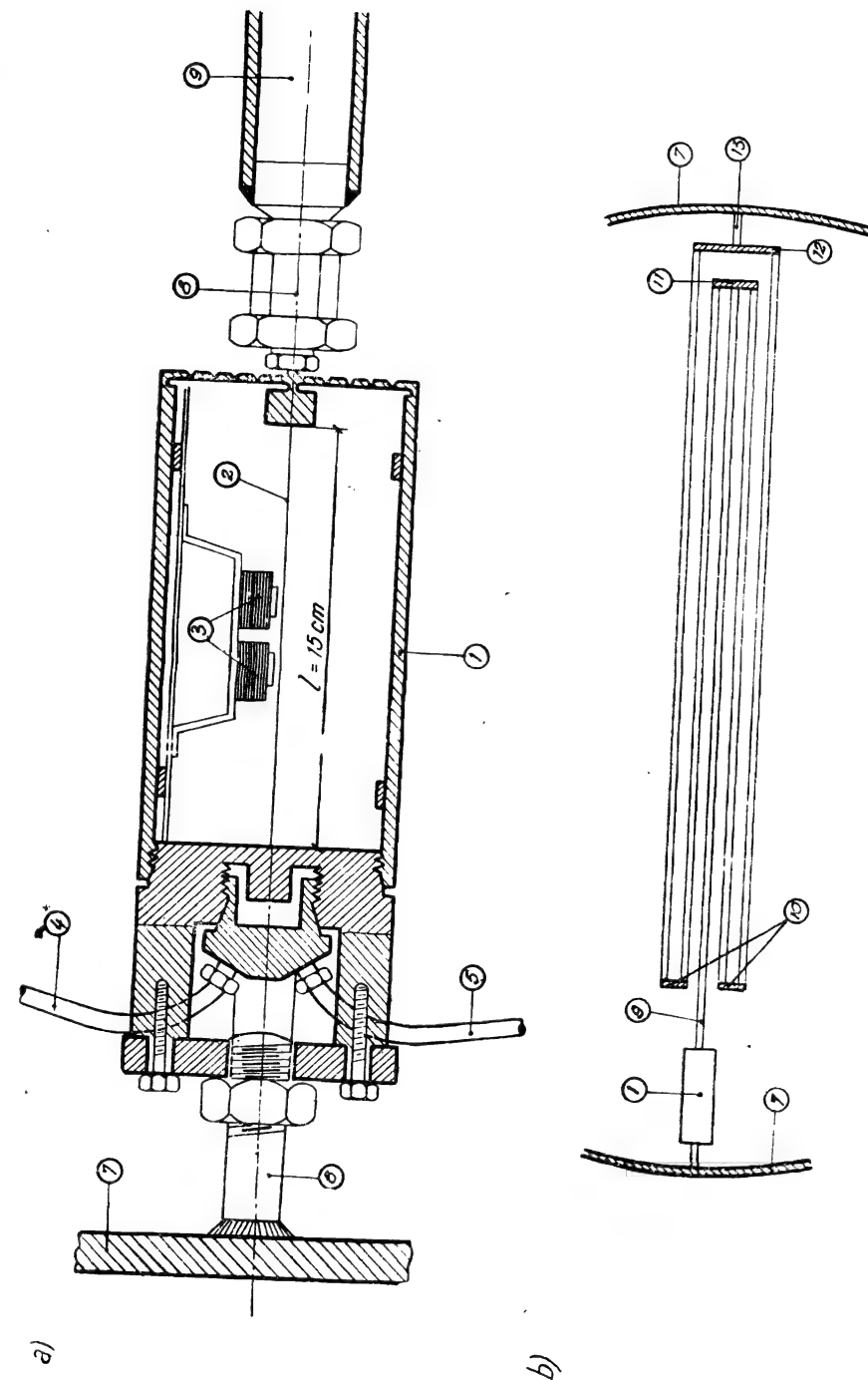


Fig. 165. — Măsurarea deformațiilor radiale ale conductelor forțate: a) schema aparatului; b) schema principială brațului compensator.

este elastic și, prin intermediul unui regulator sensibil 8, este prins la un compensator de temperatură (fig. 165 b).

Pentru compensarea variației temperaturii, regulatorul sensibil 8 este continuat cu un tub de oțel 9, sudat la două sisteme de tuburi.

Fiecare sistem este format dintr-un tub de oțel și un tub de aluminiu, prinse de placa 10.

La capătul opus tuburile de aluminiu și tubul de oțel 9 sînt prinse de placa 11, iar tuburile de oțel ale celor două sisteme se leagă la placa 12, care prin tubul metalic 13 se sudează la peretele interior al conductei forțate 7.

Compensatorul de temperatură este prevăzut astfel încît coeficienții termici de dilatare a tubului de oțel $\alpha_{\text{oțel}}$ și a tubului de aluminiu α_{al} să fie în raportul 1 la 2.

În acest fel, influența variației temperaturii este înlăturată.

Instalația descrisă a fost încercată la centrala electrică a barajului l'Aigle (Franța). Încercarea s-a făcut în trei secțiuni ale conductei, în care tola a avut grosimea de 5, 15 și 28 mm.

Încercările efectuate au arătat că deformațiile măsurate sînt inferioare ca valoare celor calculate și, totodată, s-a văzut că a existat o bună concurență între beton și tola metalică.

CAPITOLUL VI

STUDII ȘI CERCETĂRI DE LABORATOR ÎN CONSTRUCȚIILE MASIVE

A. MĂSURĂTORI DE DEFORMAȚII ȘI EFORTURI PE MODELE

§ 1. GENERALITĂȚI

Prin perfecționarea aparatelor de măsură și control interdependența dintre teorie și încercări s-a adîncit treptat. Dar, după cum aparatele de măsurat vin în ajutorul dezvoltării teoriei, la rîndul ei și teoria dă un nou impuls pentru perfecționarea metodelor experimentale.

Acestea sînt cauzele care au făcut ca, în ultimul timp, în toate domeniile științei, metodele de studii și cercetare pe modele să ia o dezvoltare mare. Aerodinamica, hidraulica practică, rezistența materialelor, construcțiile etc. sînt domenii de activitate inginerască care se bazează și se dezvoltă pe studiul modelelor.

În construcțiile masive, studiul pe modele a devenit o necesitate tehnică, deoarece pentru multe construcții problemele statice nu-și găsesc soluții teoretice satisfăcătoare; astfel sînt, stabilitatea contraforților înalți, stabilitatea construcțiilor masive construite pe terenuri nestîncioase, eforturile din baraje în arc, rezistențele locale etc.

Încă din anul 1922 în S.U.A. s-a creat o comisie *The Committee on Arch Dam Investigation* cu scopul de a studia în mod amănunțit problema barajelor în arc. În strînsă colaborare cu această comisie *The Bureau of Reclamations* a construit un model din beton al barajului Stewenson Creek la scara 1 : 12 și un model din beton al barajului Gibson. Rezultatele obținute pe aceste modele au fost bune și au confirmat utilitatea continuării cercetărilor statice pe modele.

Din teorema lui Maxwell-Betti, privind reciprocitatea deformațiilor, s-a născut în anul 1923 metoda *Beggs* pentru măsurarea microscopică a deformațiilor plane extrem de mici ale modelelor de sisteme de bare. Alte două metode, și anume metoda *Nupubest* (Nullpunktbestimmung) a lui *Rieckhof* și *Kann* (1924) și metoda *Continostat* a lui

Gottschalk, pornesc de la același principiu, dar se aplică pe modele idealizate din arcuri subțiri de încovoiere.

Aceste metode, și în special metoda Beggs, au luat o largă dezvoltare în studiul experimental pe baza liniilor de influență a momentelor și eforturilor ce apar la poduri, cadre, ferme metalice etc.

Profesorul Beggs a construit și încercat la „Universitatea Princeton” un mic model de celuloid al barajului Stewenson Creek. În anul 1926 prof. A. Mesnager și J. Veyrier (Franța) au făcut încercări pe modele de baraje în arc la Office National des Recherches Scientifiques et Industrielles et des Inventions.

Studiul pe modele a fost dezvoltat cu mult succes de către prof. G. Oberti (Italia) în laboratorul Școlii politehnice din Milano precum și în Laboratorul de cercetări pe modele de la Bergamo, construit în jurul anului 1946. Printre numeroasele baraje studiate au fost și acelea în arc ca Rochetta Osighietta, Lumiei etc.

O altă societate importantă ca Steirische Wasserkraft Elektrizitäts A.G., în urma studiilor întreprinse pe modele, a subliniat importanța studierii pe modele pentru stabilirea în mod experimental a coeficientului de siguranță al construcțiilor.

Studiile statice pe modele au luat o dezvoltare destul de mare și în alte țări ca Uniunea Sovietică, Franța, Austria, Portugalia, Cehoslovacia etc. De remarcat sînt studiile întreprinse asupra barajelor Salza și Hierzmann (Austria) și Santa Luzia (Portugalia), care au fost semnalate și în cadrul congresului marilor baraje de la Stockholm în anul 1948.

În ultimul timp o mare dezvoltare au luat-o studiile pe modele centrifugate, la care prin imprimarea unei accelerații centrifuge este posibil să se sporească rezistențele din model, datorită forțelor specifice ale modelului, pînă la mărirea lor naturală, adică aceea a prototipului (construcția din natură).

§ 2. SCOPURILE CERCETĂRII PE MODELE

Prin cercetările experimentale ce se execută pe modele se urmărește să se stabilească:

a) Deformațiile și ca urmare eforturile ce iau naștere în model datorită sarcinilor ce acționează asupra acestuia ca presiunea hidrostatică, greutatea proprie etc.

b) Coeficientul de siguranță al construcției în urma acțiunii sarcinilor.

c) Confruntarea rezultatelor obținute cu rezultatele teoretice din calcul și cu rezultatele obținute prin măsurători pe prototip, pentru a se verifica ipotezele de calcul și totodată a se cîștiga experiență pentru lucrările viitoare.

§ 3. ALEGEREA MATERIALULUI PENTRU MODELE

Una dintre primele probleme care se pune în practica executării unui model este alegerea materialului necesar confecționării sale. Importanța mare ce trebuie acordată alegerii materialului rezultă și din faptul

că atît lucrabilitatea și timpul de execuție cît și precizia măsurătorilor ulterioare sînt în funcție de materialul ales. Sub acest aspect materialul trebuie să prezinte:

a) Calități privitoare la comportarea elastică:

- Să fie izotrop și omogen.
- Să posede o mare deformație elastică, astfel ca măsurarea să fie posibilă, fără a se depăși limita elastică, existînd deci proporționalitate între deformații și eforturi, conform legii lui Hooke.
- Modulul de elasticitate să aibă pe cît posibil o valoare constantă în decursul timpului. Această valoare trebuie să fie mică, pentru a fi posibilă măsurarea deformațiilor sub o sarcină mică, și totuși nu prea mică pentru a rezista la deteriorările de manipulare.
- Să nu prezinte fenomene de curgere lentă.
- Coeficientul Poisson să fie pe cît posibil apropiat de acela al prototipului (construcția în natură), astfel încît similitudinea să poată fi realizată. Pentru cele mai multe din materialele utilizate în construcția modelelor, acest coeficient variază între 0,15 și 0,30.
- Proprietățile mecanice trebuie să fie independente de variațiile de temperatură și umiditate ale mediului înconjurător.
- Variațiile volumetrice datorite construcției și influenței temperaturii trebuie să fie bine cunoscute, iar valoarea lor să nu fie mare.

b) Calități privitoare la confecționarea modelelor:

- Să fie ușor de prelucrat, mai ales în ceea ce privește asamblarea.
- Să fie posibilă repararea modelului în cazul deteriorărilor accidentale.
- Să permită ușor montajul aparatelor de măsurare atît în interior cît și pe suprafață.
- Să nu fie scump.

★

În mod sigur nici un material nu va putea îndeplini în mod complet toate condițiile enumerate mai sus și, în afară de aceasta, adeseori este dificil, uneori chiar imposibil, să confecționăm modelul din același material ca și prototipul, de aceea materialele folosite pentru modele le deosebim în:

a) Materiale care sînt aceleași pentru model ca și pentru prototip. Utilizarea aceluiași material atît pentru model cît și pentru prototip prezintă avantajul că cele mai multe din caracteristicile materialului sînt identice pentru ambele. Totuși această idee nu trebuie generalizată.

Dacă se face modelul ca și prototipul, de exemplu din beton, atunci materialul este puțin costisitor, ușor de pus în operă (dacă grosimile nu sînt prea mici) și totodată modulul de elasticitate este destul de convenabil, trebuind să fie însă bine precizat valoric.

Coeficientul Poisson, de asemenea, va fi egal în ambele cazuri, dar se va avea întotdeauna în considerare faptul că contractia va fi la un moment dat mai mare în model decât în prototip.

O atenție deosebită va trebui acordată și faptului că modelul trebuie păstrat aproximativ la aceeași temperatură. Nerespectarea acestei condiții poate duce la erori mari. De asemenea, se va ajunge la erori admitând în mod nejustificat că dacă materialele sînt aceleași, ele vor avea și comportări identice. Se va acorda o deosebită atenție la extrapolarea valorilor aflate.

De multe ori confecționarea modelelor din beton simplu, beton armat sau structuri metalice întîmpină dificultăți greu de rezolvat. Aceasta, fie din cauza grosimilor ce trebuie date elementelor machetei, fie din cauza barelor și a tolelor metalice, care din punctul de vedere al similitudinii în ceea ce privește grosimea și calitatea oțelului sînt greu de îndeplinit.

În aceste cazuri trebuie să se utilizeze alte materiale pentru confecționarea modelelor.

b) *Materiale care sînt diferite de cele ale prototipului.* Acest caz este mai frecvent folosit. Printre materialele cele mai utilizate sînt: metalele, materiile plastice, ipsosul curat și amestecul de ipsos cu diatomită.

Metalele cele mai folosite sînt: alama, duraluminiul, duralinaxul și oțelurile de mare rezistență.

Alama are avantajul de-a putea fi obținută omogenă și izotropă. Are o deformare elastică corectă și un modul de elasticitate destul de mic pentru un metal ($9\,000\text{ kg/mm}^2$). Coeficientul de dilatație termică este ușor măsurabil și are valoarea în jurul a 17×10^{-6} . Coeficientul Poisson este de 0,33. În general alama se prelucrează și se sudează ușor, dar are dezavantajul că este scumpă.

Duraluminiul se sudează greu, dar este mai ieftin decât alama. Modulul de elasticitate este de circa $7\,000\text{ kg/mm}^2$.

Duralinaxul are calități apropiate de cele ale alamei, este sudabil și se găsește la prețuri convenabile.

Oțelurile de mare rezistență sînt mult utilizate în studiul modelelor datorită faptului că se pretează la mari deformări elastice.

Materialele plastice sînt de asemenea mult utilizate în domeniul modelelor. Ele au căpătat o largă aplicabilitate în fotoelasticimetrie, deoarece se pretează studierii eforturilor pe cale optică. Dintre cele mai folosite sînt plexiglasul, celuloidul, cauciucul și bachelita.

În general prezintă mari avantaje pentru că se pot obține omogene și izotrope, permit o construcție ușoară a modelului și se lipsesc cu ușurință cu ajutorul substanțelor organice (acetona). Se pot turna în forme și se găsesc la prețuri convenabile.

Modulul lor de elasticitate este foarte mic, în jurul a $200\text{--}300\text{ kg/mm}^2$. Marele dezavantaj al acestor materiale este că au o comportare elastică slabă, care poate să varieze în funcție de vîrstă, de temperatură și de umiditate. Condițiile de fabricare precum și cele de depozitare influențează calitățile materialului, fapt ce impune determinarea calităților materialului pentru fiecare livrare.

Mai mult, aceste materiale curg sub sarcină cu circa $80\text{--}90\%$, deci deformarea totală poate să ia naștere în timpul cîtorva clipe, restul avînd loc într-un timp mult mai lung. Celuloidul prezintă avantajul că are curgerea lentă adeseori proporțională cu sarcina de încărcare. Acest lucru se poate ușor vedea cu ajutorul epruvetelor din celuloid supuse la eforturi constante și permanente (fig. 166).

Așadar, totul se petrece la un moment dat ca și cum materialul ar avea un modul de elasticitate instantaneu, dar care descrește cu timpul.

Celuloidul se pretează la construcția de modele plane și mai ales la studiul liniilor de influență prin metoda Beggs.

Cauciucul, de asemenea prezintă un modul de elasticitate destul de mic, ceea ce îl face apt pentru studiul pe modele plane.

Ipsosul și amestecul de ipsos cu diatomită sînt cele mai utilizate materiale pentru studiul modelelor elastice tridimensionale. În urma ex-

periențelor făcute de *The Bureau of Reclamations din Washington* s-a ajuns la concluzia că cel mai bun material pentru modelele elastice tridimensionale este un amestec de ipsos cu diatomită.

Avantajele pe care le prezintă aceste materiale sînt ușurința cu care se pot turna, cît și faptul că se găsesc ușor și nu sînt prea scumpe. Ipsosul folosit este cel din comerț, trebuind să fie însă de o calitate cît mai superioară. Diatomita este o făină de fosile cu bază de siliciu. Acest amestec a fost folosit pentru modelul barajului Boulder.

Prof. G. O b e r t i și-a făcut cercetările experimentale asupra barajelor pe modele confecționate dintr-un amestec de ipsos cu diatomită. Tot cu un astfel de amestec, austriecii au executat modelele barajelor Salza și Hierzmänn, portughezii barajul Santa Luzia, cehoslovacii modelul barajului Křimov etc.

Amestecul celor două materiale se face înainte de a se adăuga cantitatea de apă necesară și care trebuie să fie într-un astfel de raport față de amestec încît să permită obținerea unui amestec aproape fluid și care să poată trece prin site cu ochiuri de 1 mm , pentru a se distruge grăunțele care tind a se forma în amestec. Cînd condițiile de turnare impun timp mai îndelungat de lucru, trebuie să se folosească încetinitori de priză, fosfatul disodic $\text{PO}_4\text{HNa}_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, în proporție de $0,5\%$ din greutatea ipsosului.

Cofrajele pentru amestecul turnat pot să fie metalice, din lemn, sau chiar plăci din beton armat. Se va avea în vedere ca înainte de turnarea amestecului pereții, în special cei de lemn, să fie impermeabilizați cu lacuri sau mai bine cu parafină.

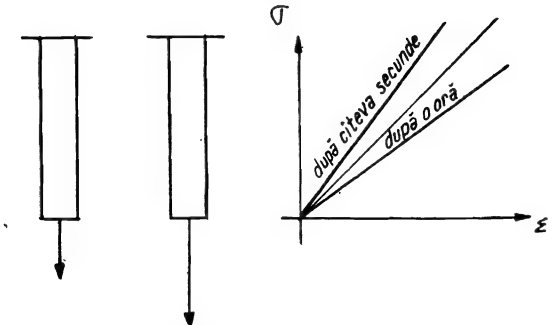


Fig. 166. — Proportionalitatea dintre curgerea lentă și încărcări.

Dintre dozajele cele mai folosite cităm : barajul Boulder : 1 parte ipsos, 0,5 părți diatomită și 1,875 părți apă ; barajul Salza și Hierzmann : 1 parte ipsos, 0,5 părți diatomită, 1,2 părți apă etc.

Modulele de elasticitate obținute cu aceste dozaje sînt în general mici, de valoare aproape egală atît pentru tensiune cît și pentru compresiune. Dozajele date mai sus nu pot fi luate la fel pentru toate modelele, ele reprezintă pentru studiile noi date orientative, deoarece la fiecare proiectare de modele trebuie făcute încercări și stabilite proporții noi care să corespundă cît mai bine dimensiunilor modelului, sistemelor de solicitare alese, mărimii forțelor etc.

Prof. M. Rocha (Portugalia) a făcut diferite studii în acest domeniu, reprezentînd variația modului de elasticitate al probelor confecționate din ipsos și ipsos cu diatomită în funcție de raportul $\frac{a}{i}$ (apă : ipsos) (fig. 167).

În diagrama din figura 168 se dă variația eforturilor în funcție de raportul apă : ipsos, pentru probe din ipsos și ipsos cu diatomită supuse la compresiune și încovoiere. Din diagramă se vede că valoarea eforturilor descrește o dată cu creșterea raportului apă : ipsos.

În figura 169 se dă diagrama obținută la cercetarea modelului barajului Křimov (Cehoslovacia, fig. XXVI).

Curbele reprezentate adică $E = F_1 \left(\frac{a}{i} \right)$ și $\sigma = F_2 \left(\frac{a}{i} \right)$ pot fi luate ca puncte de plecare în studiul de proiectare, executare, observare și măsurare a modelelor.

Din studiul acestor curbe se vede clar că amestecul ipsos-diatomită este acela care corespunde și se încadrează cel mai bine în condițiile pe care trebuie să le îndeplinească un material pentru modele.

Coefficientul Poisson ale acestui amestec variază între 0,15 și 0,25.

În S.U.A. în special pentru barajul Nordamerican Calderwood, s-au făcut multe încercări, timp îndelungat, pentru descoperirea unei materii artificiale a cărei greutate specifică, modul de elasticitate și constantă Poisson să posede astfel de valori încît trecerea de la model la prototip, conform legilor similitudinii, să fie mult ușurată.

Un amestec de gumă cu litargă s-a apropiat foarte mult, dacă nu chiar complet condițiilor impuse.

§ 4. SIMILITUDINEA MODELELOR CU REALITATEA

Teoreticienii Mitchell și Maurice Levy au demonstrat, referitor la influența materialului, încă între anii 1890—1899, pe baza unor considerații teoretice, că repartiția și mărimea relativă a eforturilor unitare în interiorul elementelor de construcție nu depind prea mult de materialul de construcție ; în schimb ele depind de constanta Poisson, cu condiția ca limita de elasticitate să nu fie depășită și condițiile la limită să fie îndeplinite.

Rezultă de aici că problemele dificile ale stării de tensiune pot fi rezolvate prin studiul pe modele, fără a se ține seama în practică de ma-

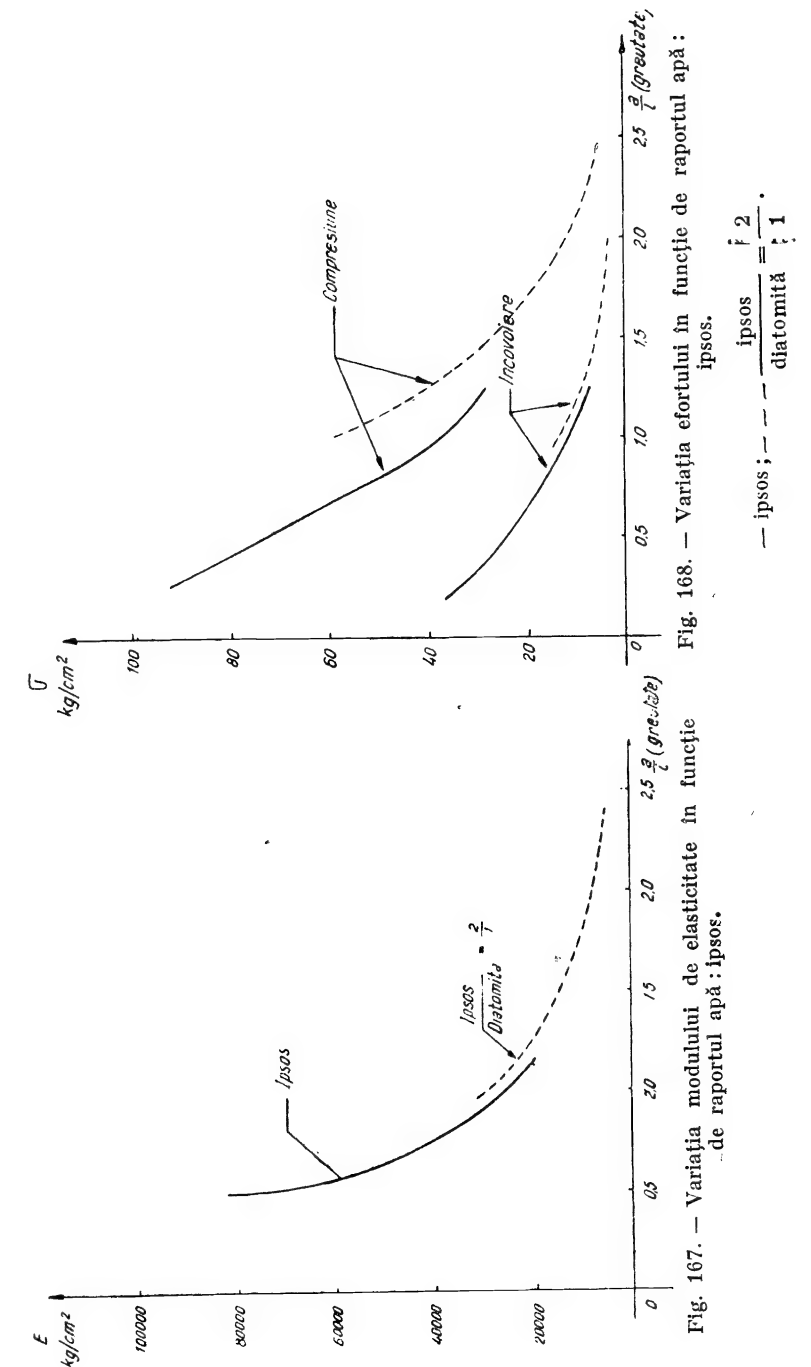


Fig. 167. — Variația modului de elasticitate în funcție de raportul apă : ipsos.

Fig. 168. — Variația efortului în funcție de raportul apă : ipsos.

$$\frac{\text{Ipsos}}{\text{diatomită}} = \frac{2}{1}$$

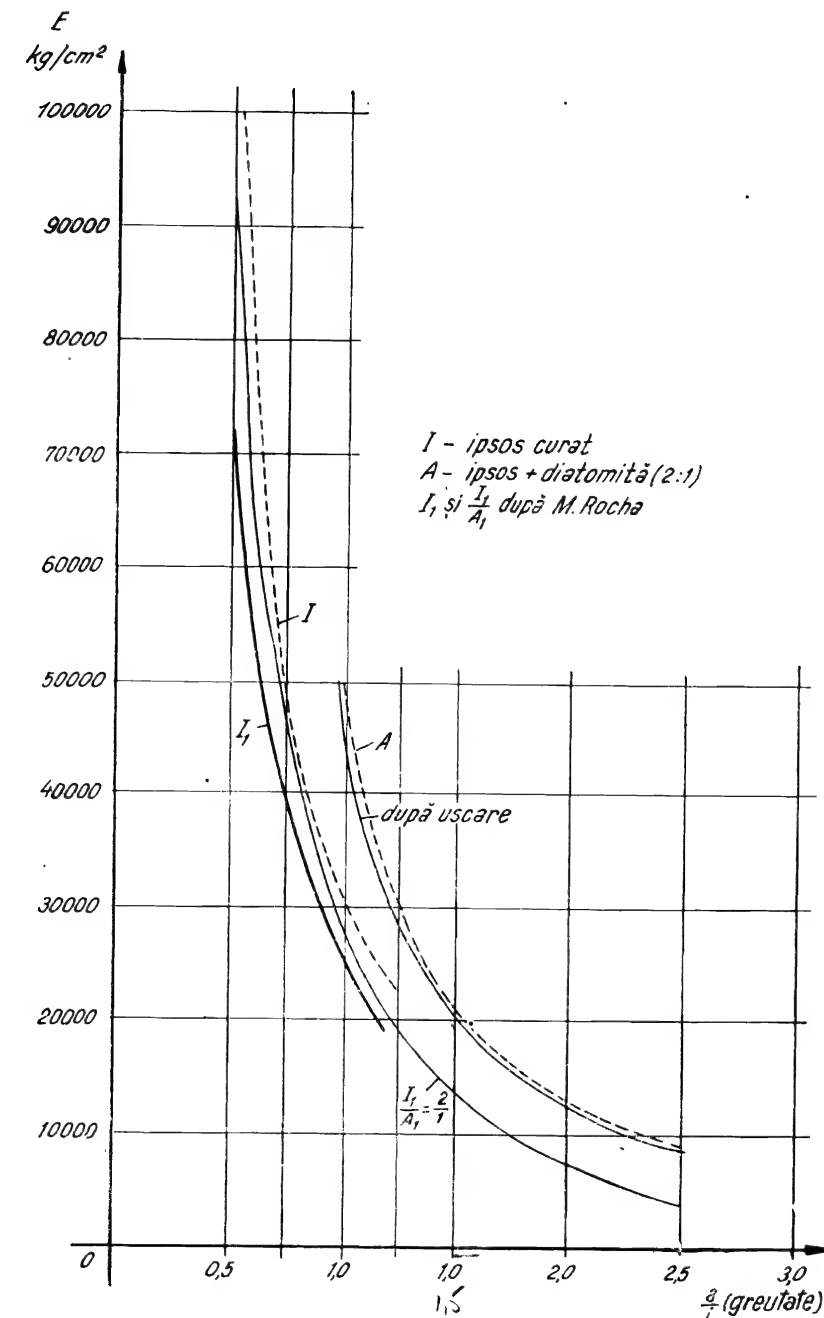


Fig. 169. — Variația modului de elasticitate în funcție de raportul apă : ipsos.

terialul modelului, și că este suficient dacă forma geometrică și metodele de solicitare precum și condițiile marginale și solicitarea în domeniul elastic satisfac principiul similitudinii la care nu se poate renunța.

În urma a numeroase cercetări s-au scos ca valabile următoarele relații între dimensiunile și eforturile corespunzătoare dintre prototip și model (tabela 4).

Tabela 4

	Prototip	Model
Lungimea	λ	$\lambda_1 = \lambda \frac{\lambda_1}{\lambda}$
Secțiunea piesei	Ω	$\Omega_1 = \Omega \left(\frac{\lambda_1}{\lambda} \right)^2$
Sarcina	P	$P_1 = P \left(\frac{E_1}{E} \right) \left(\frac{\lambda_1}{\lambda} \right)^2$
Momentul de inerție	I	$I_1 = I \left(\frac{\lambda_1}{\lambda} \right)^4$
Greutatea specifică	γ	$\gamma_1 = \left(\frac{E_1}{E} \right) \left(\frac{\lambda}{\lambda_1} \right)$
Eforturile în piesă	σ	$\sigma_1 = \sigma \frac{E_1}{E}$
Efortul admisibil	σ_0	$\sigma_{01} = \sigma_0 \frac{E_1}{E}$
Coeficientul de siguranță al construcției	$\frac{k}{\sigma}$	$\frac{k_1}{\sigma_1} = \frac{k}{\sigma}$
Deformația	ε	$\varepsilon_1 = \varepsilon \left(\frac{\lambda_1}{\lambda} \right)$

La proiectarea modelului nu trebuie să respectăm în mod prea sever similitudinea de formă cu realitatea. Anumite simplificări sînt permise dacă ele sînt condiționate de natura problemei.

Alegerea scării modelului influențează, de asemenea, confecționarea și buna desfășurare a observațiilor pe modele. Dacă se alege o scară aproape egală cu unitatea, prezintă avantajul că permite cu ușurință confecționarea modelului cu toate caracteristicile prototipului, ca legătura dintre piese, formă etc.

Cînd prototipul este de dimensiuni mari, este greu să se aleagă o scară aproape egală cu unitatea.

Aceasta atît din cauza dimensiunilor mari, care cer preț ridicat și timp foarte mult, cît și din cauză că observarea pe modele este foarte dificilă și necesită de asemenea mult timp.

Reducerea scării modelului are ca urmare rapiditatea de confecționare precum și ușurința de studiu pe model.

La alegerea scârilor minime trebuie să se țină seama de următoarele :

- de precizia cu care se pot realiza aparatele de solicitare și aparatele de măsurare, precum și de precizia cu care se pot monta ;
- de cele mai mici piese care trebuie reproduse pe model astfel încât atât executarea lor, cât și observațiile asupra lor, să nu producă dificultăți.

La piesele de dimensiuni mici este indicat să se aleagă o scară superioară unității. Cele mai folosite scări sînt alese între 1 : 10 și 1 : 500.

§ 5. APARATELE DE SOLICITARE

Solicitarea modelelor care trebuie să fie o imagine la scară redusă a solicitării reale asupra prototipului, cere de la caz la caz dispozitive de solicitare adecvate problemei.

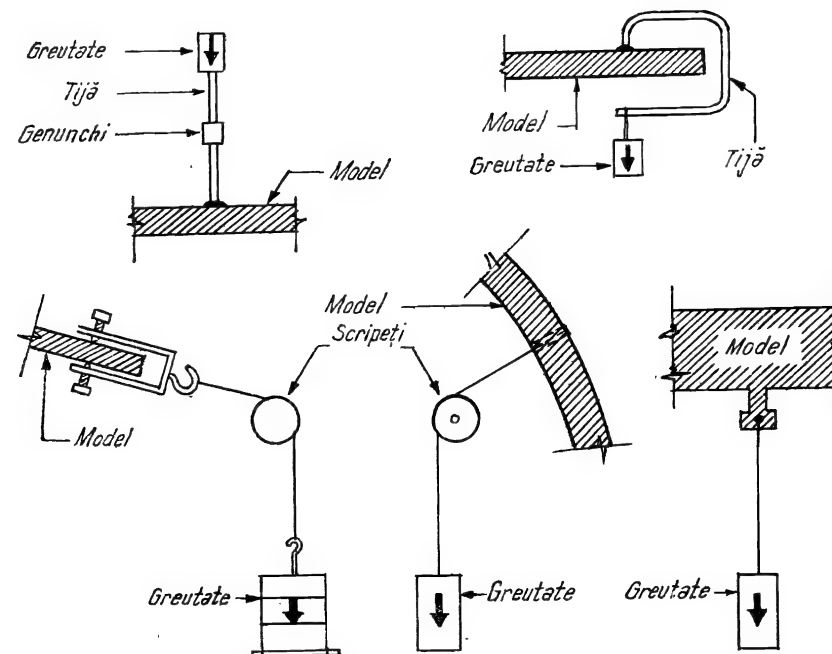


Fig. 170. — Solicitarea modelelor prin sarcini concentrate.

În studiile experimentale se caută, de obicei, a se impune deplasări și nu încărcări. În consecință, toate studiile se reduc la a găsi procedee pentru impunerea de deplasări și apoi a măsurării eforturilor.

Aplicarea sarcinilor exterioare, ca de exemplu presiunea hidrostatică, se poate înlocui fie prin greutateți (fig. 170), fie prin resorturi (fig. 171). În ultimul caz resorturile pot să joace două roluri : să servească ca dina-

mometre, sau să repartizeze încărcările sau cîteodată să îndeplinească ambele roluri.

În figura 170 este dat un exemplu de reproducerea sarcinilor exterioare pe modele cu ajutorul greutateților (după schematizarea făcută de prof. M. R o c h a).

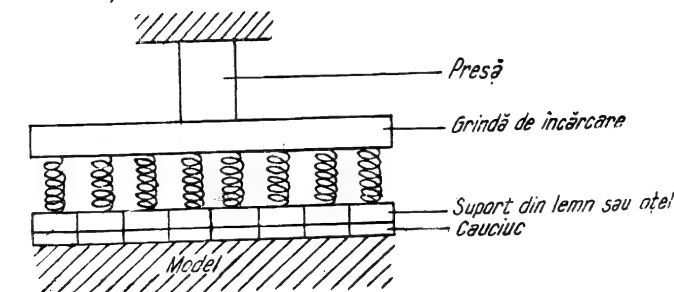


Fig. 171. — Solicitarea modelelor printr-o saltea cu arcuți.

În figura 171, forțele exterioare, de exemplu presiunea hidrostatică, este înlocuită prin resorturi, o saltea de arcuți, relativ foarte flexibilă, introdusă între model și o grindă încărcată foarte rigid. Încărcarea este dată prin intermediul unui piston de presiune.

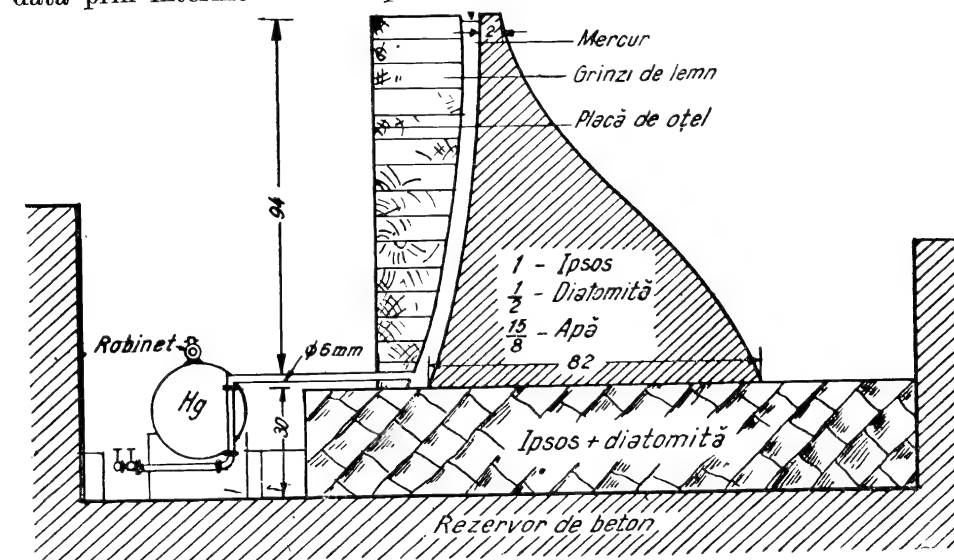


Fig. 172. — Modelul barajului Boulder (sistemul de solicitare cu mercur).

În cazul în care forțele repartizate lucrează normal pe suprafață, încărcarea poate fi înlocuită printr-un lichid. De obicei se folosește mercur. În figura 172 este dată schema de încărcare a modelului barajului american Boulder cu ajutorul mercurului.

În figura 173 se redă modul cum a fost soluționată problema înlocuirii presiunii hidrostatice prin resorturi helicoidale, comprimate prin șuruburi și care-și transmit presiunea asupra suprafeței barajului prin intermediul unor plăci.

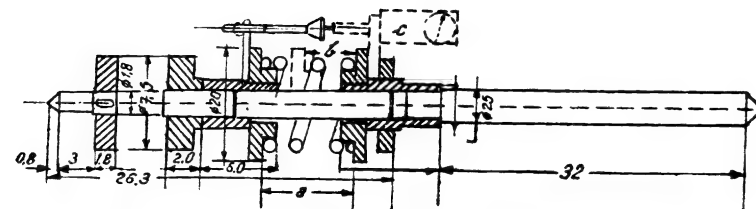


Fig. 173. — Aparatul de solicitare (sistem helicoidal).
a) deplasarea maximă; b) deplasarea minimă; c) microcomparator.

Acest sistem a fost folosit cu bune rezultate la barajul Salza și Hierzmann (fig. 174). Prin utilizarea acestui sistem s-a câștigat posibilitatea unei creșteri progresive a intensității sarcinii, ceea ce a permis controlul proporționalității dintre sarcina progresivă și deformații cu ajutorul instrumentelor.

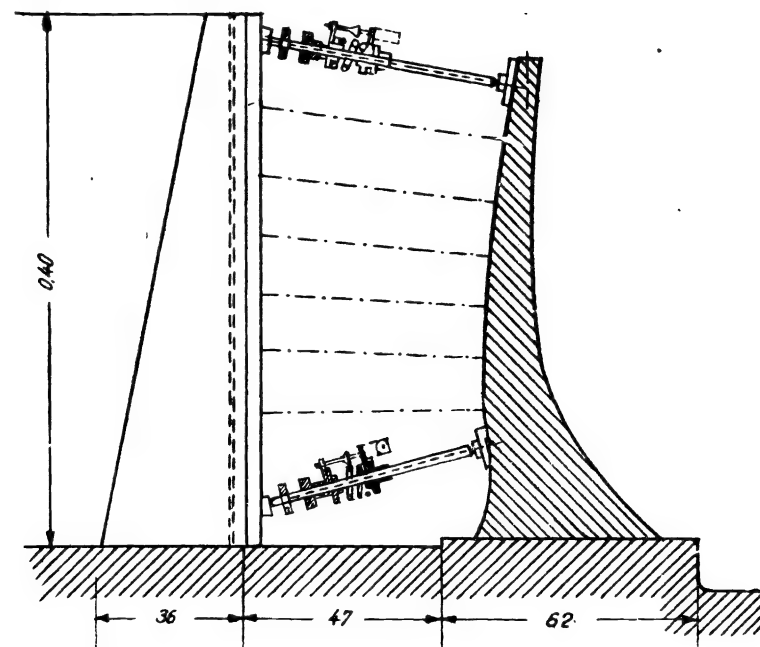


Fig. 174. — Barajul Salza. Distribuția aparatelor de solicitare.

Pentru producerea presiunii hidrostatice prof. G. Oberti folosește cilindri de presiune 1 (fig. 175), care prin intermediul unor grinzi mici 2, 3 și 4 și prin cutia de presiune 5 transmite presiunea asupra paramentului amonte al barajului.

Cilindri de presiune sînt alimentați cu ulei sub presiune printr-un manometru cu pendul. Fiecare grup de încărcare este dispus astfel ca axa cilindrului de presiune să coincidă cu rezultanta presiunii apei.

Cutia de presiune 5 este din tolă de oțel de 27×28 cm și între ea și paramentul barajului se intercalează o placă de cauciuc 6 de 1 cm grosime, astfel încît cutia să adere exact pe suprafața barajului.

Acest mecanism permite imitarea diferitelor situații de încărcare, așa cum apar în realitate la umplerea și golirea bazinului.

De multe ori este preferabil să se înlocuiască presiunea hidrostatică prin lichide sau mai bine prin gaze sub presiune, introduse în interiorul unor perne de cauciuc și care se dispun pe suprafața amonte a barajului (fig. 176).

Pe înălțime, presiunea apei fiind variabilă, se folosesc mai multe perne de cauciuc cu presiuni corespunzătoare presiunii apei.

La barajul Křimov (Cehoslovacia), presiunea hidrostatică la model a fost înlocuită prin perne de cauciuc plasate pe fața amonte a modelului (fig. XXVII).

În ceea ce privește determinarea pe model a greutății proprii, se recurge la diferite artificii. Prof. G. Oberti în studiile pe modele imită greutatea proprie și subpresiunea printr-un sistem de cilindri de presiune și tije (fig. 177, a, b și c).

Presiunea dată de cilindrii de presiune 1 se distribuie prin intermediul suporturilor 2, 3, 4, de profile U prin grinzi 5 și tijele 6 și prin intermediul unui fir de oțel 7 de 5 mm grosime, care duce de la tijă în interiorul corpului modelului la lagărul cu role 8. Pentru ca firul să aibă joc liber, el este montat într-un tub flexibil.

Construcția articulată și repartitia corespunzătoare a forțelor provoacă în interiorul modelului o repartitie a sarcinii corespunzînd acțiunii greutății proprii.

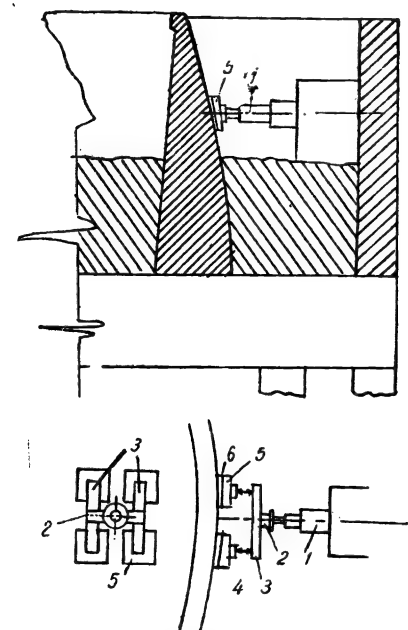


Fig. 175. — Sistemul de solicitare cu cilindri de presiune.

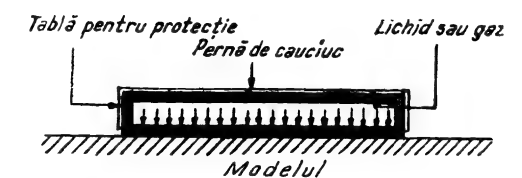


Fig. 176. — Solicitarea modelelor prin intermediul pernelor de cauciuc.

Posibilitatea de a modifica după dorință acest sistem de încărcare prin modificarea presiunii în cilindri permite de a cerceta și problemele subpresiunii.

Greutatea proprie la modelul barajului Křimov a fost produsă în modul următor: modelul a fost împărțit în mai multe părți și în centrul de greutate al fiecărei părți a fost fixată greutatea elementului respectiv, prin intermediul unui coș de sîrmă și al unei plăci de repartiție, astfel

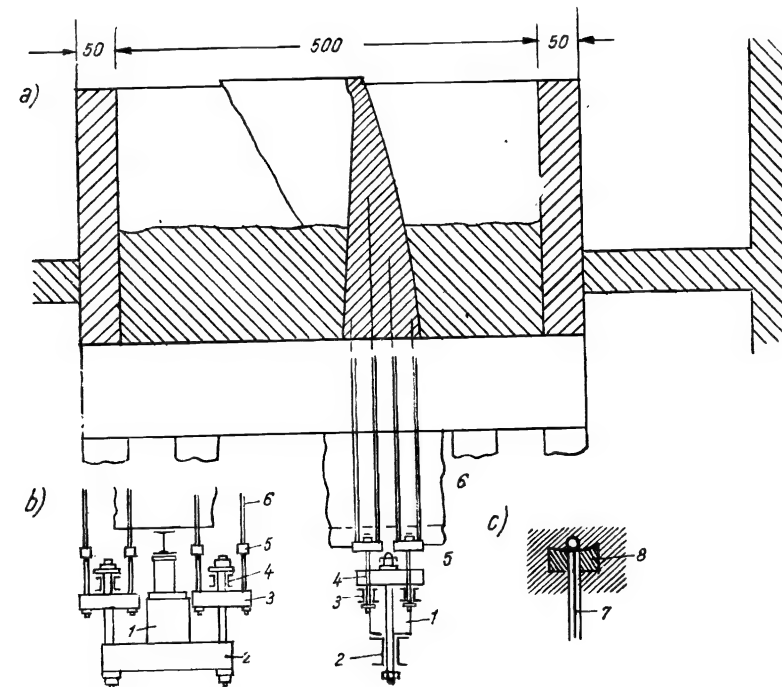


Fig. 177. — Înlocuirea greutății proprii prin cilindri de presiune și tije.

încît sarcina să nu fie concentrată ci să fie repartizată în corpul elementului într-un mod cît mai uniform posibil (fig. XXVIII).

Întreaga compensație a greutății proprii a fost transmisă în model, printr-un cilindru hidraulic cu ulei, a cărui forță rezultantă a fost repartizată printr-un sistem de pîrghii astfel ca forța fiecărei biele să fie la fel de mare.

§ 6. APARATE ȘI METODE DE MĂSURARE

Printre aparatele cele mai frecvent folosite în studiul pe modele cităm aparatele de măsurare mecanice, electrice, acustice și pneumatice pe care le rezumăm în tabela 5.

Tabela 5

Aparate	Caracteristici		Observații
	Baza de măsurare	Domeniul de măsurare	
a) <i>Mecanice</i>			
extensometre Huggenberger			
„ „ tip A	10;20;>20	0,2	Se folosesc unde apar concentrații de eforturi
„ „ „ B	20;>20	0,2	
„ „ „ FX	10 ÷ 15	0,2	
„ „ Johansson mici	3 : > 3	0,5	
„ „ „ mari	50 : > 50	0,5	
b) <i>Acustice</i>			
extensometre tip. Coyne	100;200	—	
c) <i>Electrice</i>			
mărci electrice tip SR 4	3 la 150	5×10^{-3}	
„ „ „ Philips	3 ÷ 150		
d) <i>Pneumatice</i>			
extensometre tip Solex	—	5	
e) <i>Fleximetre</i>	—	5	
f) <i>Tensotaste</i>	—	5	

Extensometrele Huggenberger sînt instrumente de măsurarea alungirii (fig. XXXIII). Distanța de măsurare este determinată, pe de o parte, prin sistemul fix *a* și, pe de altă parte, prin tăișul inferior al prisme mobile *b* (fig. 178).

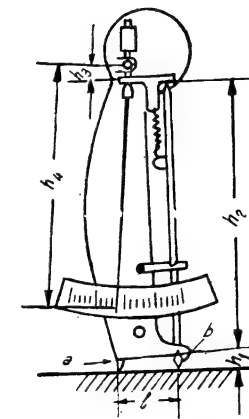


Fig. 178. — Extensometrul mecanic Huggenberger.

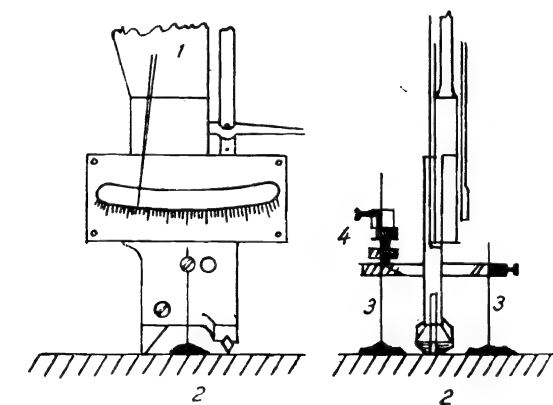


Fig. 179. — Montarea extensometrului Huggenberger pe parament.

Datorită unui dublu sistem de pîrghii, precum și unui prelungitor, care se poate atașa, acest aparat mărește alungirea Δl a distanței de măsurare l de 2 000 de ori.

Schema de funcționare a aparatului reiese din figurile 178 și XXVII.

Pentru fixarea extensometrelor pe corpul modelului s-a folosit dispozitivul din figura 179. Extensometrul 1 s-a fixat de fața modelului 2

cu firul metalic 3 care, datorită șurubului de calare 4, poate fi întins după nevoie.

În studiul pe modele cu bune rezultate se poate folosi în același scop ca și extensometrele mecanice Huggenberger, *tensotastele*. Acestea se folosesc mai ales în locurile în care se prevăd deformații mari.

Distanța de măsurare a aparatului este de 20 mm. Distanța de măsurare l (fig. 180) este delimitată prin două bile de oțel inoxidabil.

Alungirea Δl a distanței de măsurare l se transmite microcomparatorului în raportul 1 la 1.

Microcomparatorul are un domeniu de măsurare de 5 mm și permite să se citească cu o precizie de 1 : 1000 mm.

La așezarea pe model a instrumentului, se reazimă mai întâi piciorul fix a pe una din bile și se mișcă cu degetul mic pârghia de reglaj p , până ce talerul din piciorul mobil b se potrivește pe bila care se găsește dedesubt.

Bilele pe care se așază tensotastele se încrustează în partea frontală a unei tije de oțel, care se îmbetonează în masa modelului la 20 mm distanță.

Funcționarea corectă a instrumentului se verifică cu ajutorul unui calibr de comparație. Calibrul de comparație este recomandabil să fie confecționat dintr-un material care să aibă același coeficient de dilatare termică ca și modelul, deoarece în acest caz există posibilitatea de a determina pe lângă efectul dat de variația sarcinii și efectul variației de temperatură.

Încovoierea se măsoară cu bune rezultate cu ajutorul *fleximetrului* adaptat pentru studiul

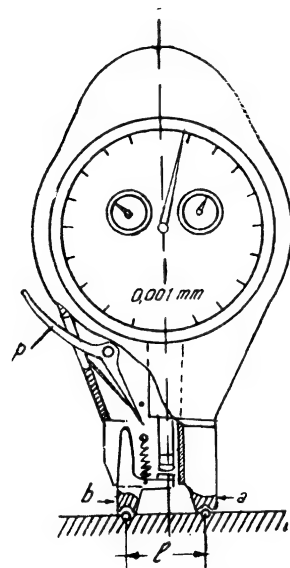


Fig. 180. — Tensotastul tip Huggenberger.

pe modele. Construcția lui se aseamănă cu aceea a barei de așezare pentru clinometru (fig. 44) numai că în locul clinometrului apare un microcomparator care arată curbura, cu un domeniu de măsurare de 5 mm la o precizie de 1 : 1000 mm.

Extensometrele mecanice Johansson permit a se face citiri pe baze scurte de măsurare, cu precizie la fel ca aceea a extensometrelor Huggenberger.

În general, extensometrele mecanice prezintă inconvenientul că ocupă un spațiu destul de mare și instalarea lor este destul de dificilă.

Extensometrele cu coardă sînt, de asemenea, mult folosite în studiul pe modele. Ele prezintă avantajul că ocupă un spațiu mic și permit măsurători la distanță.

Corzile sînt fire de oțel cu o lungime minimă în jurul a 10 cm și cu un diametru de 0,02 mm. În mod obișnuit ele se fixează pe suprafața modelului cu ajutorul unor plăcuțe metalice 1 și 2 ce se lipesc cu ajutorul unui amestec de ipsos-ciment pe paramenți (fig. 181).

Vibrațiile corzii sînt interceptate, prin intermediul electromagnetului 4, fie de un aparat electronic prevăzut cu un tub catodic, fie de un aparat prevăzut cu un dispozitiv sonor, și cu fir de referință care

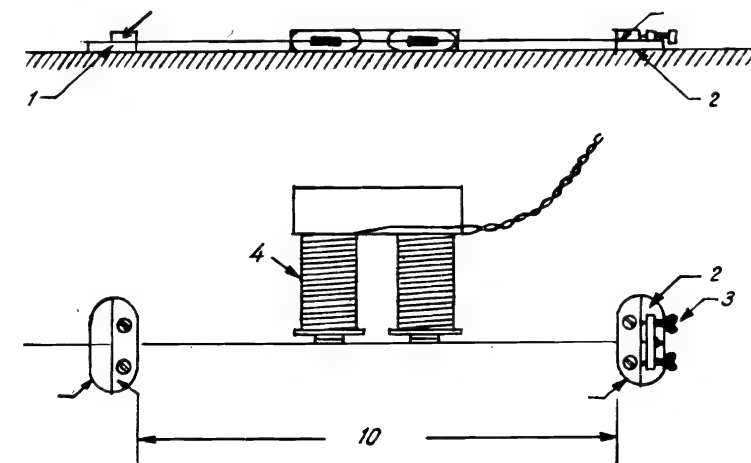


Fig. 181. — Aparatul cu coarde pentru măsurarea deformațiilor.

poate fi pus la unison cu firele de încercare a căror alungire trebuie măsurată.

Corzile se întind pe suprafața paramenților sub formă de triunghiuri echilaterale, pentru a face măsurători de 60°, dar se utilizează și dispoziția la 45° sau 90° (fig. 182).

În ultimul timp această dispoziție de rețele liniare pentru măsurători a fost mult utilizată. La modelul barajului Křimov (Cehoslovacia) s-a adoptat dispoziția liniară la 60° (fig. XXX).

Fixarea rețelilor de măsurători pe paramentul amonte la modelele solicitate cu sarcini continue ca perne de presiune, mercur etc., întâmpină dificultăți atât de montare cît și de măsurare.

O bună rezolvare a acestei probleme s-a dat la modelul barajului Santa-Luzia (fig. 183 XXXI).

Pentru a proteja rețeaua liniară de măsurători contra presiunii masei de mercur 3, s-a folosit o protecție din capace metalice 2. Aceste capace

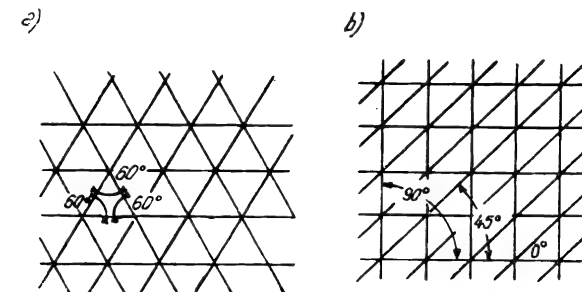


Fig. 182. — Aranjarea corzilor pe paramenți pentru măsurarea deformațiilor :

a) rețeaua liniară pentru măsurători între 0 și ±60°; b) rețeaua liniară pentru măsurători între 0,45 și 90°.

sînt puțin depărtate, astfel încît să permită o liberă deformare a barajului. Prinderea lor de machetă s-a făcut cu ceară.

Extensometrele electrice se pretează cel mai bine la studiul pe modele deoarece nu necesită piese accesorii se lipesc cu ușurință pe suprafața modelului și chiar și pe suprafețe supuse sarcinilor, permit măsurarea la distanță, iar manevrarea lor este destul de ușoară.

Măsurătorile cu mărci electrice au luat o dezvoltare destul de mare aproape în toate țările.

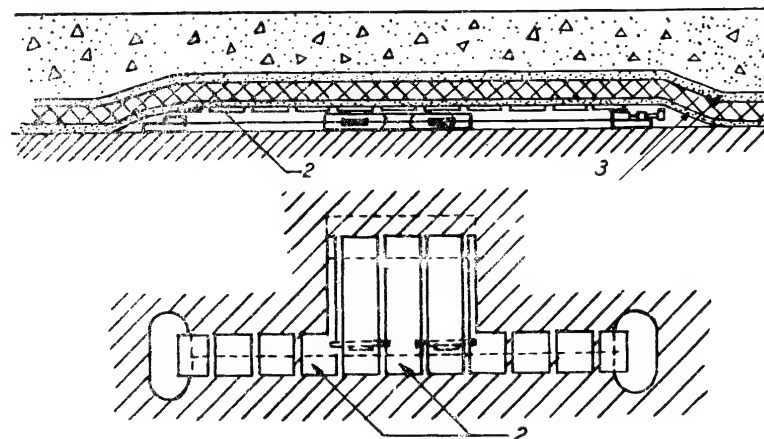


Fig. 183. — Fixarea rețelei liniare de măsurători pe paramentul amonte (modelul barajului Santa Luzia).

Prin numeroasele îmbunătățiri aduse în decursul timpului, acești transmițători s-au impus a fi folosiți și utilizați în diferite domenii ingineresti.

Aparatul se compune dintr-un fir de constantan pus sub formă de buclă 1 și lipit cu ajutorul unui lac pe o hîrtie foarte subțire 2. Capetele înfășurării sînt legate cu niște fire mai groase 3, de care se sudează conductorul propriu-zis (fig. 184).

Întreaga suprafață de înfășurare este acoperită cu un strat de lac, pe care se așază ca protecție contra deteriorării o bandă de fetru. Fixarea pe suprafața de studiat se face cu ajutorul unui clei special, acetona etc.

Mărcile electrice se așază pentru studiu la 45°, 60 sau 90° (fig. 184 b și c).

Rezultatele măsurătorilor depind în cea mai mare măsură de modul de lipire al transmițătorului pe piesa de studiat. Bule mici de aer ce eventual ar mai exista după lipire între transmițător și piesă pot erona întregul rezultat.

Măsurarea se face cu ajutorul unei punți Wheatstone (fig. XXXII), care are și avantajul că permite compensarea influenței temperaturii asupra mărcii electrice prin folosirea unei a doua mărci electrice care se lipește pe o piesă identică aceleia care se examinează, sau chiar pe

aceea, dar la o distanță de punctul de măsurare ca să nu fie influențată de deformările ce apar în acest punct.

Metoda de măsurare cu mărci permite de a transmite foarte simplu pe cale electrică atît încovoierile cît și deplasările.

Pe modele de celuloid au fost măsurate deplasări de ordinul a 25 mm.

Se va avea grijă ca înainte de lipirea transmițătorilor pe model, acesta să se impermeabilizeze cu multă grijă.

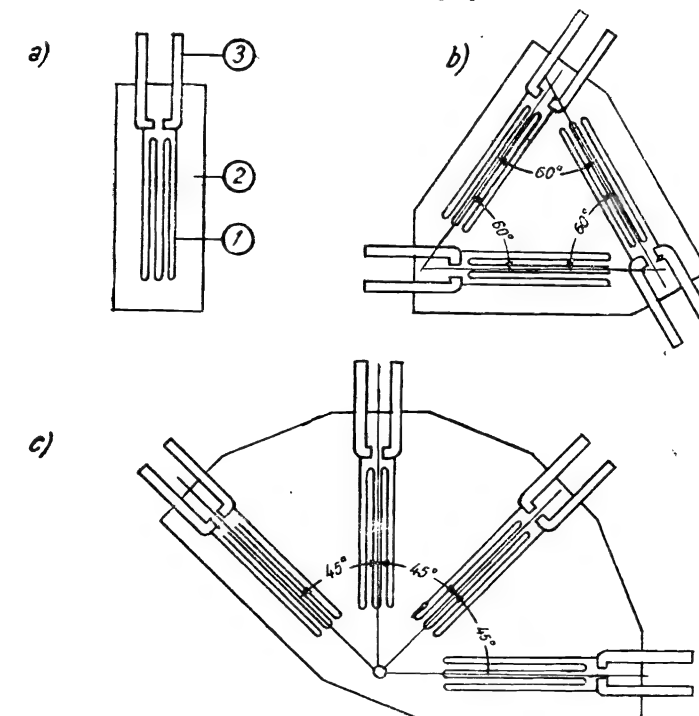


Fig. 184. — Modul de așzare al extensometrelor electrice pentru studierea situației plane a eforturilor:

a) așzarea pentru o singură direcție de măsurare; b) așzarea în triunghi la 60°; c) așzarea în rozetă.

Extensometrele pneumatice au luat în ultimul timp o dezvoltare mare aproape în toate țările. Cele mai cunoscute sînt cele de tip Solex (fig. XXXIV), (Franța), la care variația de debit a unui curent de aer care trece printr-un orificiu se pune în evidență cu ajutorul unui manometru diferențial.

Orificiul este constituit dintr-un ajutoraj cilindric în fața căruia este plasat un obstacol plan, a cărui poziție variază după deformarea bazei.

Acest aparat este extrem de precis și permite măsurarea pe baze scurte de măsurători de la 2 mm pînă la 5 mm, are o putere de amplificare de 200 000.

Mărirea bazei de măsurare la 10 mm ar permite utilizarea extensometrelor pneumatice la cercetarea modelelor sub sarcină slabă și la determinarea în condiții mai bune a coeficientului Poisson.

§ 7. OBSERVAȚII. MĂSURĂTORI DE DEFORMAȚII ȘI DEPLASĂRI

Ceea ce se urmărește în ultima analiză în studiul pe modele este determinarea eforturilor care apar în model sub acțiunea solicitărilor. Pentru aceasta este necesar să cunoaștem atât deplasările cât și deformările.

Determinarea deplasărilor. Determinarea componentelor deplasării se face în mod obișnuit cu ajutorul microcomparatoarelor cu cadran de la 1/10 până la 1/1 000 mm (Fig. X).

Cele mai curent folosite sînt acelea ce dau precizia de măsurare de 1/100 mm.

În mod obișnuit se amplasează în avalul modelului microcomparatoare, susținute de o structură metalică fie în mod izolat, cînd ne interesează numai deplasările unui anumit punct, fie legate într-un plan orizontal de un manșon deplasabil pe verticală, montat pe un tub metalic (fig. XXIX).

Cu bune rezultate pentru studiile bidimensionale se folosesc microscopmetre utilizate mult în metoda Beggs.

Determinarea stării de deformare. Pentru determinarea într-un mod complet a stării de deformare în jurul unui punct este necesar să se cunoască cele șase deformații specifice: ε_x , ε_y , ε_z și γ_{xy} , γ_{yz} , γ_{zx} .

Ținînd seama și de cosinuşii directori l , m și n ai normalelor la un sistem de axe ortogonale $Oxyz$, valoarea deformației ε este dată de expresia generală

$$\varepsilon = \varepsilon_x l^2 + \varepsilon_y m^2 + \varepsilon_z n^2 + \gamma_{xy} lm + \gamma_{yz} mn + \gamma_{zx} nl, \quad (129)$$

în care am notat prin ε_x , ε_y și ε_z lungimile specifice paralele la axele de coordonate, considerîndu-se pozitive la o creștere a segmentului și negative la o scurtare a lui, iar prin γ_{xy} , γ_{yz} , γ_{zx} alunecările specifice ale segmentelor paralele la axele de coordonate, considerîndu-se pozitive cînd corespund la deformații ce diminuează unghiul format de segmente la axele ortogonale și care inițial a fost drept.

Pentru un punct de suprafață ($z = 0$)

$$\varepsilon = \varepsilon_x l^2 + \varepsilon_y m^2 + \gamma_{xy} lm. \quad (130)$$

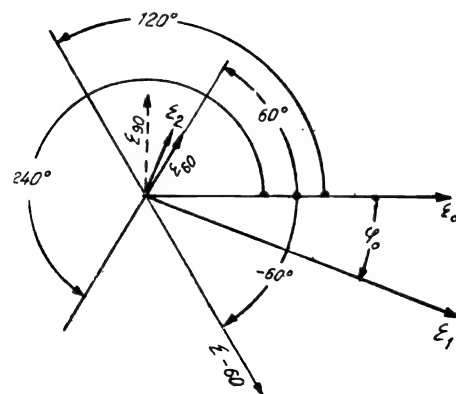


Fig. 185. — Linia de măsurători între 0 și $\pm 60^\circ$.

nuează unghiul format de segmente la axele ortogonale și care inițial a fost drept.

Pentru un punct de suprafață ($z = 0$)

$$\varepsilon = \varepsilon_x l^2 + \varepsilon_y m^2 + \gamma_{xy} lm. \quad (130)$$

Deci, cunoscînd trei alungiri, se poate determina starea de deformare la suprafață. În cazul cînd se fac măsurători pe trei direcții, utilizînd rețeaua liniară de măsurători sub unghiuri de 60° , după schema din figura 185 și ținînd seama de ecuațiile teoriei elasticității, avem

$$\operatorname{tg} 2\varphi_0 = \frac{\varepsilon_{-60} - \varepsilon_{60}}{2\varepsilon_0 - \varepsilon_{-60} - \varepsilon_{60}} \sqrt{3} \quad (131)$$

și

$$\varepsilon_1; \varepsilon_2 = \left(\frac{\varepsilon_0 + \varepsilon_{60} + \varepsilon_{-60}}{3} \right) \pm \frac{\varepsilon_{-60} - \varepsilon_{60}}{\sqrt{3} \sin 2\varphi_0}, \quad (132)$$

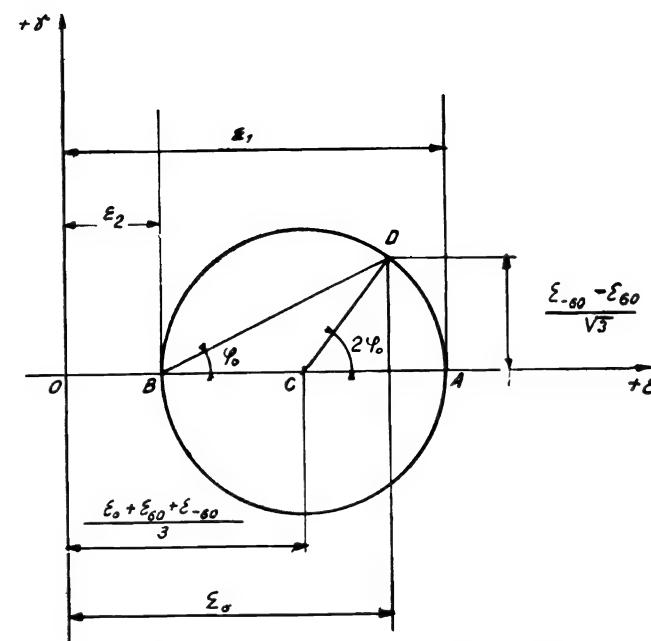


Fig. 186. — Cercul deformațiilor între 0 și 60° .

sau

$$\varepsilon_1; \varepsilon_2 = \left(\frac{\varepsilon_0 + \varepsilon_{60} + \varepsilon_{-60}}{3} \right) \pm \frac{\sqrt{(2\varepsilon_0 - \varepsilon_{-60} - \varepsilon_{60})^2 + 3(\varepsilon_{-60} - \varepsilon_{60})^2}}{3}. \quad (133)$$

Se poate face și o măsurătoare de control la care trebuie să avem

$$\varepsilon_{90} = \frac{2\varepsilon_{60} + 2\varepsilon_{-60} - \varepsilon_0}{3}. \quad (134)$$

În figura 186 este dată reprezentarea grafică a deformațiilor.

La aceste deformări măsurate corespund și deplasările

$$\left. \begin{aligned} \frac{\gamma_0}{2} &= \frac{(\varepsilon_{-60} - \varepsilon_{60})}{\sqrt{3}}, \\ \frac{\gamma_{60}}{2} &= \frac{(\varepsilon_0 - \varepsilon_{-60})}{\sqrt{3}}, \\ \frac{\gamma_{-60}}{2} &= -\frac{(\varepsilon_0 - \varepsilon_{60})}{\sqrt{3}}. \end{aligned} \right\} \quad (135)$$

În cazul când folosim rețeaua liniară de măsurători sub unghiuri de 45°, deformările principale sînt

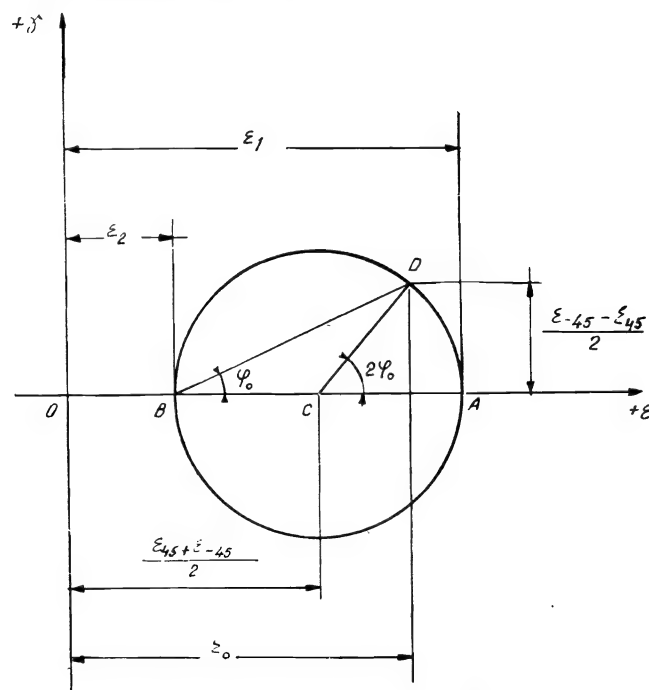


Fig. 187. — Cercul deformațiilor între 0 și 45°.

$$\varepsilon_1; \varepsilon_2 = \frac{\varepsilon_{45} + \varepsilon_{-45}}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{(2\varepsilon_0 - \varepsilon_{-45} - \varepsilon_{45})^2 + (\varepsilon_{-45} - \varepsilon_{45})^2}. \quad (136)$$

Pentru control se va ține seama de egalitățile

$$\varepsilon_{90} = \varepsilon_{45} + \varepsilon_{-45} - \varepsilon_0 \quad (137)$$

sau

$$\varepsilon_{90} + \varepsilon_0 = \varepsilon_{45} + \varepsilon_{-45}.$$

În figura 187 se dă reprezentarea grafică a deformărilor.

Tangenta unghiului este dată de relația

$$\operatorname{tg} 2\varphi_0 = \frac{(\varepsilon_{-45} - \varepsilon_{45})}{(2\varepsilon_0 - \varepsilon_{-45} - \varepsilon_{45})}. \quad (138)$$

§ 8. DETERMINAREA STĂRII DE EFORTURI ȘI INTERPRETARE

Ținând seama de alungirile măsurate și de legea lui Hooke, valoarea eforturilor rezultă din ecuațiile (139)

$$\left. \begin{aligned} \sigma_1 &= E \frac{\varepsilon_1 + \mu \varepsilon_2}{1 - \mu^2}, \\ \sigma_2 &= E \frac{\varepsilon_2 + \mu \varepsilon_1}{1 - \mu^2}, \\ \tau_{\max} &= \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}. \end{aligned} \right\} \quad (139)$$

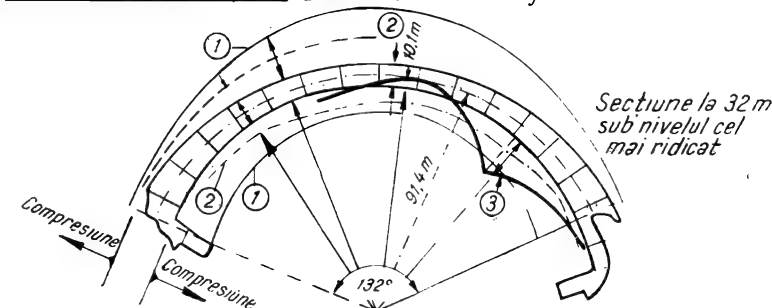
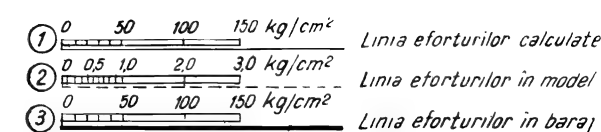


Fig. 188. — Tensiunile din părțile amonte și aval într-o secțiune la 32 m sub nivelul cel mai ridicat.

În ultimul timp s-a dezvoltat o serie de sisteme electrice și mecanice de rezolvare rapidă a eforturilor ce iau naștere la suprafața modelului în funcție de deformările specifice măsurate.

Santo Rini (Franța) a elaborat o metodă pentru măsurarea tensiunilor și temperaturilor într-un baraj de beton cu ajutorul curenților de înaltă frecvență.

Ca exemplu de soluționare a observațiilor și măsurărilor efectuate asupra unui baraj atît în natură cît și pe model, precum și confruntarea rezultatelor obținute cu cele reieșite din calcul se dă barajul nordamerican Calderwood baraj mixt, parte în arc, parte de greutate (fig. 188).

În figura 188 sînt scoase pe direcțiile razelor medii tensiunile din părțile amonte și aval într-o secțiune la 32 m sub nivelul cel mai ridicat.

În total sînt redată trei feluri de tensiuni, cele reieșite din calcul, cele măsurate pe model și cele măsurate pe prototip (barajul gata executat).

Rezultatele de calcul și cele reieșite experimental în cadrul laboratorului, pe model, corespund, în general.

Există însă unele diferențe între acestea și rezultatul de pe prototip, în special în secțiunea 3, deoarece barajul real a fost prevăzut cu rosturi de dilatație, pe cînd calculul teoretic și observațiile pe model s-au executat pe corpuri monolitice.

De altfel se știe că în cazul barajelor cu rosturi închise, rezultatele sînt diferite de cazul barajelor cu rosturi deschise după cum reiese din figura 188.

B. FOTOELASTICIMETRIA

(Metoda optică de cercetare a stării de eforturi pe modele)

§ 9. GENERALITĂȚI

Încă în secolul trecut s-a propus utilizarea fenomenelor de dublă refracție accidentală la determinarea experimentală a eforturilor pe modele.

Fizicianul englez D. Brewster a descoperit pe la începutul secolului al XIX-lea, dubla refracție accidentală la sticlă. Cercetări în acest domeniu au fost continuate cu succes apoi de Neumann și Maxwell pe la jumătatea secolului al XIX-lea, iar pe la sfîrșitul acestui secol C. Wilson a bazat pe această metodă studiul problemelor de elasticitate.

Francezul Mesnager a fost de fapt acela, care pe la începutul secolului al XX-lea a făcut din această metodă un instrument în mina tehnicienilor, prin studiul său privind modelul podului de la Balme, executat și studiat în cadrul laboratorului de Poduri și Șosele din Paris.

Fotoelasticimetria a fost apoi continuată și dezvoltată mai departe de Coker, Filon, Frocht, Tesař, Oding, Knoll, Milbauer etc.

Astăzi în cercetările experimentale, fotoelasticimetria este preferată altor metode de studiere a eforturilor pe modele, deoarece prezintă avantaje nete față de celelalte metode, aceasta datorită faptului că permite determinarea mai rapidă și mai economică a stării de eforturi și cu o precizie superioară. De asemenea, prezintă avantajul că dă indicații asupra întregului cîmp de tensiuni putînd fi totodată aplicată cu succes la determinarea tensiunilor datorite greutății proprii.

Ea dă un ajutor prețios în studiile pedagogice pentru că ne dă imaginea de distribuire a eforturilor pe modele studiate.

Unul dintre cele mai mari avantaje ale fotoelasticimetriei este faptul că pe modele se pot aplica fie sarcini statice fie variabile, datorită posibilității de a le examina prin metoda cinematografică.

Acest lucru este de o mare importanță căci studiul rezistenței pieselor în mișcare, ia o mare extensiune în tehnica modernă.

§ 10. NOȚIUNI DE OPTICĂ NECESARE ÎN TEHNICA FOTOELASTICIMETRICĂ

Lumina este o vibrație electromagnetică care plecînd de la o sursă se propagă în toate direcțiile cu o viteză

$$v = \frac{c}{n},$$

în care v este viteza de propagare în mediul considerat avînd indicele de refracție n , iar c este viteza de propagare în vid egală cu 300 000 km/s, și cu o intensitate luminoasă proporțională cu energia transportată prin vibrație, sau chiar proporțională cu patratul amplitudinii.

Sursa de lumină albă, necesară în timpul experimentărilor, este produsă de lămpi electrice, sau de lămpi de proiecție. Sursa de lumină monocromatică este produsă de tuburi de descărcare cu vapori de sodiu și de mercur; aceasta din urmă este soluția cea mai perfectă, dar mai costisitoare.

Se pot folosi și combinații cu sursă de lumină albă cu filtre colorate.

Ca *dispozitive de polarizare*, fotoelasticimetria folosește analizorul, polarizorul și lamele sfert de undă.

Pentru producerea luminii polarizate rectiliniu (fig. 189, a), tehnica fotoelasticimetrică folosește nicoli sau polaroizi.

Nicolii sînt prisme groase din spat de Islanda, pe suprafața (cărora) o rază de lumină monocromatică se descompune în două vibrații una ordinară și alta extraordinară. Polarizarea perfectă are loc atunci cînd una din raze este absorbită.

Nicolul a fost foarte mult timp singurul utilizat ca dispozitiv de polarizare. Prezintă dezavantajul că nu se poate obține decît în dimensiuni mici.

Polaroizii sînt substanțe anizotrope care se bucură de proprietatea că absorb una din raze, cîteodată aproape complet, în timp ce lasă să treacă pe cealaltă. Prima substanță utilizată pentru acest scop a fost turmalina. Și aceasta are însă dezavantajul că nu se poate produce decît în dimensiuni mici. Dezvoltarea tehnicii a dus la confecționarea de polaroizi mari cu un diametru de 30–35 cm, numiți și filtre de polarizare.

Filtrele de polarizare sînt formate dintr-un strat subțire de cristale de periodură de sulfat de chinină, puse pe un film, și orientate în același sens, fie prin laminare, fie prin acțiunea unui cîmp electric sau magnetic.

Filtrele executate cu cristale de herapatit au primit în ultimul timp o largă aplicabilitate.

În mod obișnuit, la un aparat se folosesc doi polaroizi. Unul se numește polarizor și celălalt analizor. Polarizorul este acela care este cel

mai apropiat de sursa de lumină. În timpul experimentării, planurile lor de polarizare trebuie să fie la 90° , unul față de celălalt.

Examinarea modelelor se face nu numai în lumină polarizată rectiliniu, ci și în lumină polarizată circular (fig. 189, b). În acest sens se folosesc

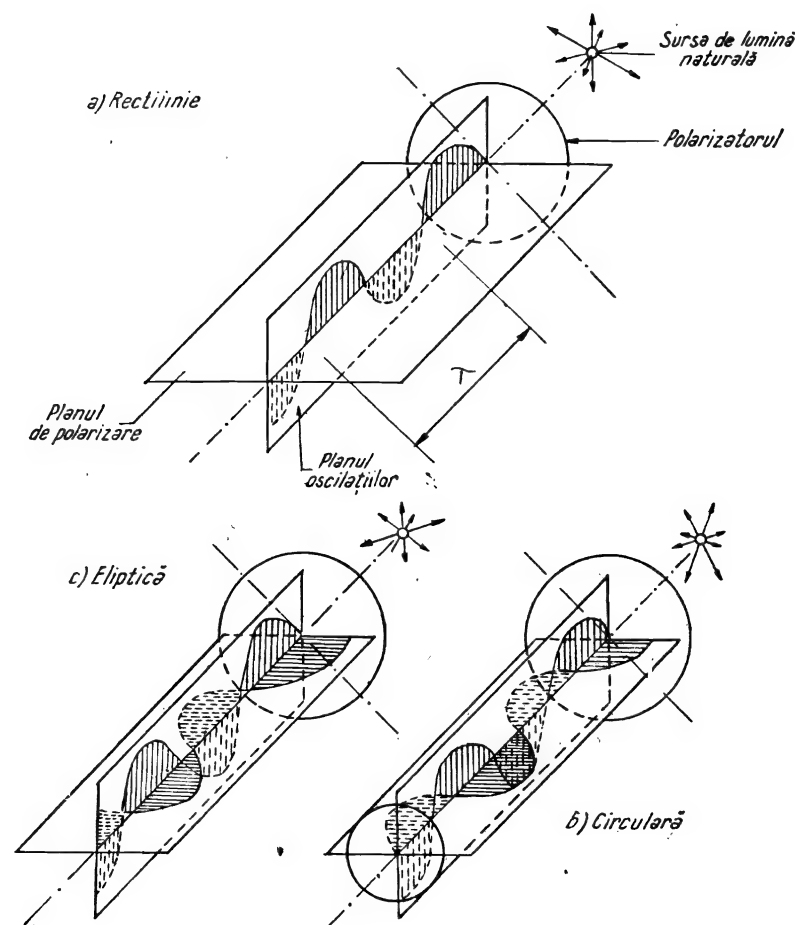


Fig. 189. — Schema de polarizare.

lamă sfert de undă ($\frac{\lambda}{4}$), care se introduce între model și polarizori. Pentru ca polarizarea să fie circulară, planurile lor de polarizare trebuie să fie la 90° între ele și la 45° față de planurile polarizorilor.

În cazul când nu este respectată lungimea sfert de undă, avem o polarizare eliptică (fig. 189, c).

Obținerea lamelor sfert de undă, de dimensiuni mari, astfel încât să fie corespunzătoare filtrelor de polarizare, este posibilă pe două căi, fie folosind o placă de sticlă prinsă într-un cadru și solicitată astfel încât să producă o dublă refracție egală cu un sfert de lungime de undă, fie folosind celofan, care capătă proprietăți de anizotropie în timpul procesului de laminare.

În general, foile de celofan din comerț, au o grosime suficient de constantă și întotdeauna dintr-un lot întreg se vor găsi câteva care să satisfacă dubla refracție accidentală impusă.

§ 11. FOTOELASTICIMETRE

Sursa de lumină, polarizorul, analizorul și lamele sfert de undă formează fotoelasticimetrul.

După felul cum sînt executate, avem diferite fotoelasticimetre:

a) *Fotoelasticimetre pentru lumină dirijată.* În funcție de precizia cerută, construcția fotoelasticimetrelor se poate face cu și fără lentile.

Pentru observații de precizie obișnuită nu este nevoie de nici o lentilă, fiind necesar numai de a pune ochiul sau obiectivul aparatului de fotografiat suficient de departe de analizor sau mai bine în fața regiunii studiate.

Pentru o precizie mai mare este suficientă o singură lentilă, după cum se arată în figura 190 b, în care este redat dispozitivul *Massachusetts Institute of Technology*, compus dintr-un polaroid și o lentilă.

În figura 190 a se redă aparatul imaginat de M. M. Le Boiteux et Bousard, compus dintr-un nicol și un dispozitiv de mărirea cîmpului.

În figura 190 c se dă un dispozitiv mai simplu, fără nici o lentilă.

În ultimul timp dezvoltarea tehnicii a condus la construirea de fotoelasticimetre cu posibilități de observare a modelelor pe cale cinematografică așa este fotoelasticimetrul cu lumină dirijată Pondichéry (vezi fig. XXXVII). Se compune din două mese-suport separate între care se plasează modelul.

Pe o masă se găsește sursă de lumină, polarizorul lama sfert de undă și lentila.

Pe cealaltă masă se găsește lentila colectoare lama sfert de undă, analizorul și distribuitorul optic în jurul căruia sînt grupate dispozitivele pentru observații vizuale prin proiecții, fotografice și cinematografice.

b) *Fotoelasticimetre pentru lumină reflectată (autocolimatoare).* Pentru modele spațiale și pentru modele cu suprafață curbă, cel mai bine se pretează autocolimatoarele, aparate pentru lumină reflectată (fig. XXXVIII și XXXIX). Autocolimatoarele se pot construi cu o precizie suficient de mare. La aceste aparate, raza de lumină, după ce traversează prima dată modelul, se reflectă pe o sticlă, traversează din nou modelul și apoi intră în analizor. Sensibilitatea lor este dublă prin faptul că traversează de două ori modelul.

c) *Fotoelasticimetre pentru lumină directă*. Aceste aparate sînt cele mai practice pentru studiul pe modele. Un aparat de acest gen, care corespunde cerințelor moderne impuse de tehnica fotoelasticimetrică, este și

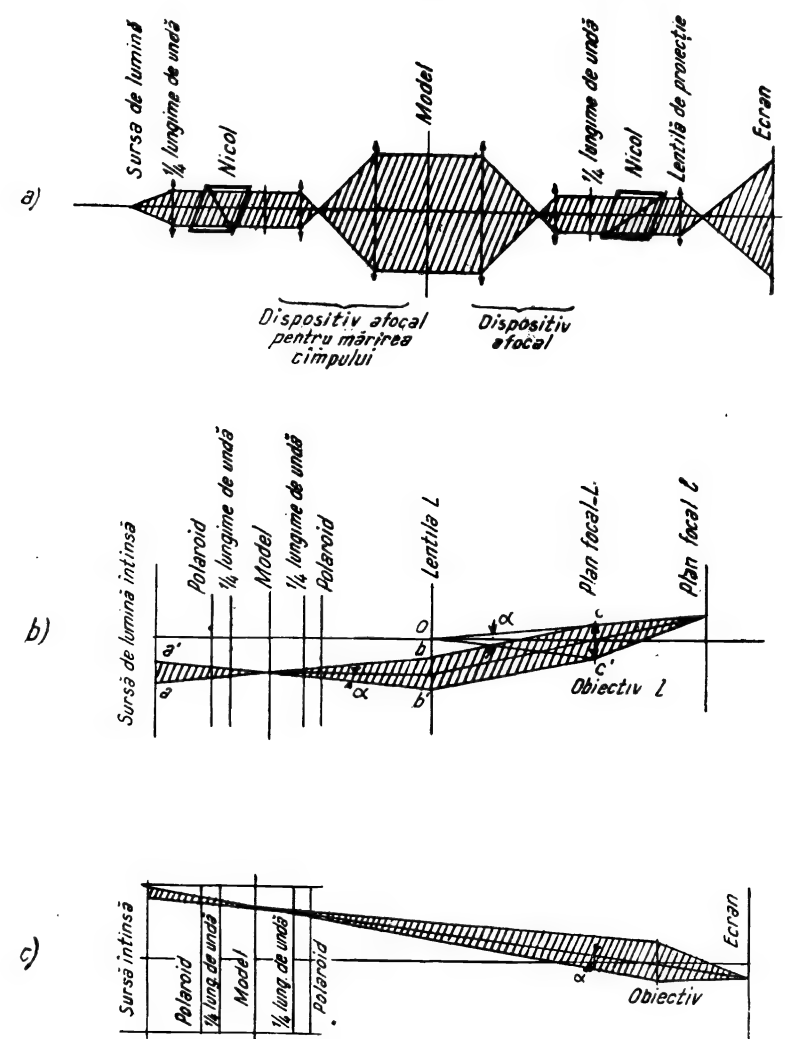


Fig. 190. — Diferite dispozitive fotoelasticimetrice.

aparatul construit de Întreprinderea de stat cehoslovacă — Přesná Mechanika — Bratislava (fig. 191 și XXXV).

La acest aparat polarizorii, adică analizorul și polarizorul, sînt din filtre de herapatit cu diametrul de 350 mm. Lamelle sfert de undă sînt executate din mică. După cum este indicat și în figura 191, fiecare pola-

rizor este plasat de sine stătător pe suporturi independente, ușor deplasabili, înălțimea lor putînd fi reglată automat.

Polarizorii și lamelle sfert de undă se pot învîrți fie manual, fie prin intermediul motoarelor electrice care le învîrtesc sincron.

Viteza de rotație a polarizorilor se poate produce în două trepte. Prima treaptă este de 1° pe secundă, iar a doua treaptă este de 10° pe

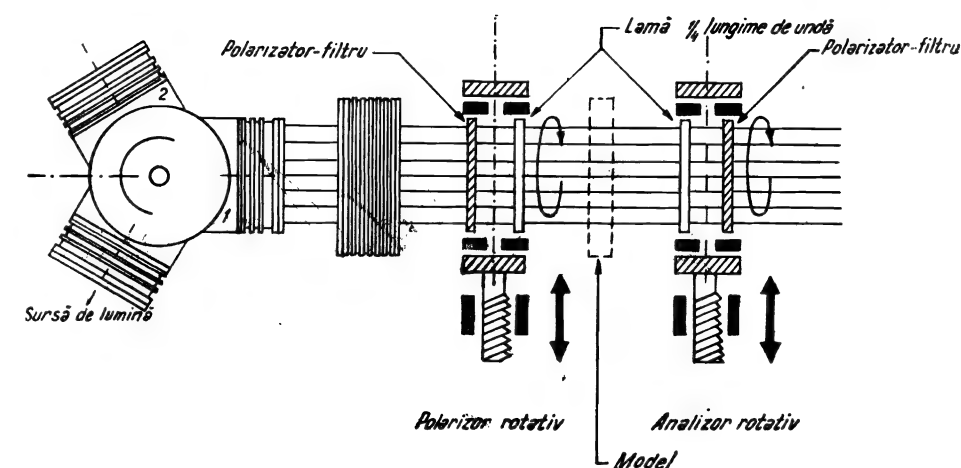


Fig. 191. — Schema fotoelasticimetrului pentru lumină directă construit în R. Cehoslovacă.

secundă. Este posibilă, printr-o reglare judicioasă a motoarelor electrice, învîrtirea ambelor filtre în mod sincron.

Observarea modelului la aparat în timpul experimentării se face fie vizual, fie cu ajutorul aparatului fotografic.

Fotografia trebuie luată numai după ce s-a făcut o bună alegere între diferitele orientări posibile ale polarizorilor.

§ 12. REȚELELE CARACTERISTICE

Introducînd un model fotoelastic în planele de polarizare ale fotoelasticimetrului, intensitatea luminii va suferi o serie de modificări în funcție de solicitarea ce se dă modelului.

Prin solicitare, cîmpul vizual se luminează, brăzdat de niște benzi negre numite izocline. Prin mărirea solicitării apar alte benzi colorate, curbele izocromatice. După descărcare cîmpul vizual se întuneacă din nou (fig. XLIII).

Intensitatea razei de lumină care traversează modelul va fi dată de ecuația

$$I = I_0 \sin^2 2\alpha \sin^2 \pi \frac{\sigma}{2} \quad (140)$$

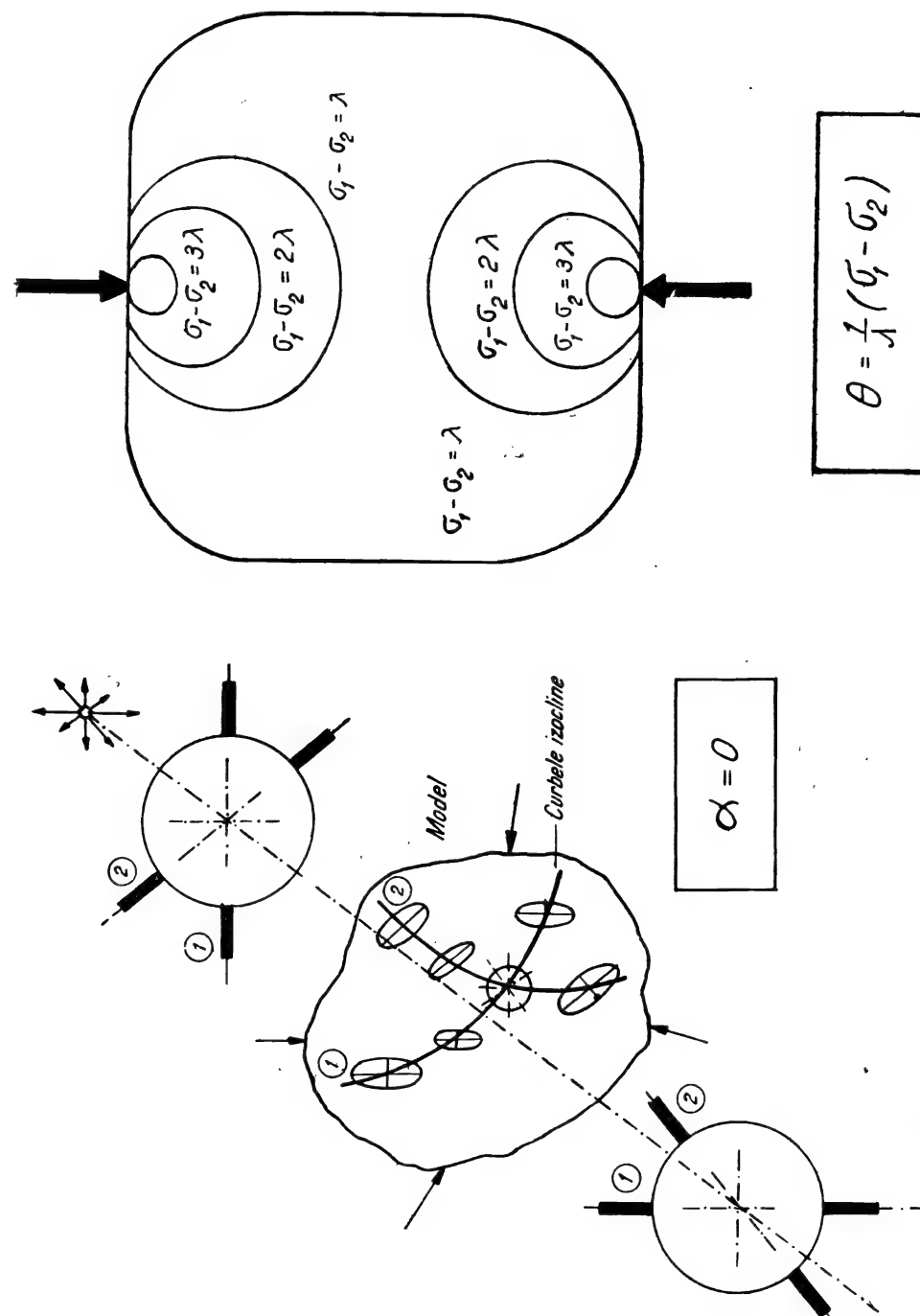


Fig. 192. - Formarea curbelor izocline.

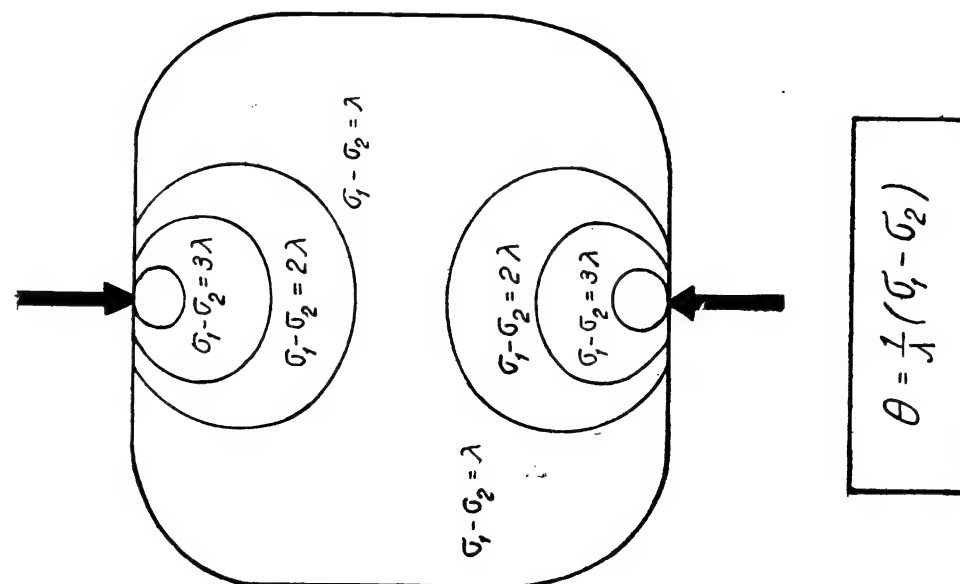
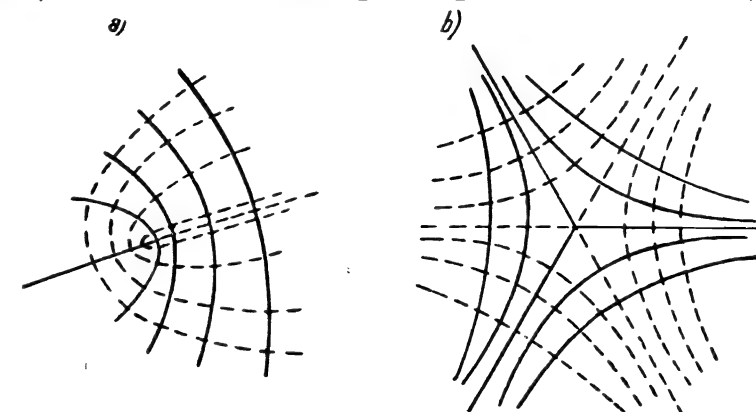


Fig. 193. - Formarea curbelor izocromatic.

Întunecarea unora din locurile modelului observat, adică apariția izoclinelor și izocromaticelor se produce în două cazuri:

Cazul I: dacă $\alpha = n \frac{\pi}{2}$, ... ($n=1, 2, 3, 4, \dots$), atunci locul geometric al acestor puncte constituie curbele izocline, sau locul punctelor unde direcțiile principale ale eforturilor sînt paralele sau perpendiculare la acelea ale sistemului polarizant (fig. 192).

Cazul II: dacă diferența de fază $\theta = 2m$ ($m=1, 2, 3, \dots$), atunci intensitatea luminii se anulează din nou, fără însă să avem o întunecare completă, ci o culoare rezultată prin suprimarea acelor culori, din cele

Fig. 194. - Puncte singulare:
a) pozitive; b) negative.

care compun lumina albă, a căror lungime de undă satisface condiția indicată mai sus, cu alte cuvinte colorarea se produce numai acolo unde diferența eforturilor unitare principale este constantă conform ecuației

$$\sigma_1 - \sigma_2 = a \text{ (constant)}. \quad (141)$$

Locul acestor puncte constituie așa-numitele curbe izocromatic, curbe de aceeași culoare, datorită dublei refracții constante (fig. 193).

Prin rotirea polarizatorilor, ținînd neschimbată perpendicularitatea între planurile polarizante, curbele izocline variază (fig. 192), în timp ce curbele izocromatic rămîn fixe.

Ținînd seama de faptul că diferența de fază dintre cele două unde ce traversează modelul este

$$\theta = \frac{k}{\lambda} (\sigma_1 - \sigma_2), \quad (142)$$

avem o întunecare completă cînd diferența eforturilor este nulă, atunci cînd $\sigma_1 - \sigma_2 = 0$, sau mai bine spus în acel punct eforturile principale sînt egale.

Aceste puncte întunecate se numesc puncte singulare și se bucură de proprietatea că în timpul rotirii polarizatorilor ele nu-și schimbă poziția.

Punctele singulare sînt de două feluri: pozitive și negative (fig. 194).

Punctele singulare se consideră pozitive sau atractive cînd izoclinele sînt dispuse în sensul rotirii acelor de ceasornic (fig. 194, a) și negative sau repulsive cînd izoclinele sînt dispuse în sens invers rotirii acelor de ceasornic.

Prin punctele singulare trece o infinitate de curbe izocline.

§ 13. TEHNICA SEPARĂRII EFORTURILOR UNITARE PRINCIPALE

Fotoelasticimetria ne permite prin curbele izocromatice să cunoaștem diferența eforturilor $\sigma_1 - \sigma_2 = a$, iar prin curbele izocline ne dă posibilitatea să construim *rețeaua de izostate*, acestea fiind curbe care în fiecare punct sînt tangente la direcțiile principale. Ele determină sensul eforturilor unitare principale.

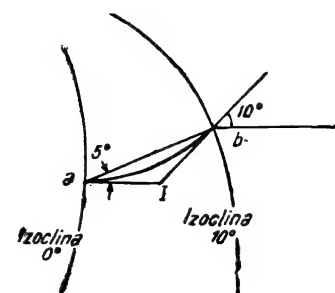


Fig. 195. — Procedeu grafic pentru stabilirea izostatelor.

Există mai multe procedee grafice pentru stabilirea izostatelor. Unul dintre cele mai practice procedee este schițat în figura 195 și constă în a asimila curba izostatică dintre două izocline cu un arc de cerc. Dreapta care unește punctele de intersecție ale izostatei (arcul de cerc) cu izoclinele este înclinată cu un unghi ce corespunde parametrului mediu al acestor două izocline.

Pentru a trece de la aceste date la separarea eforturilor au fost propuse mai multe metode :

a) Prin integrarea grafică a ecuațiilor Lamé-Maxwell de-a lungul curbelor izostatice putem stabili valoarea separată a eforturilor σ_1 și σ_2 , ținînd totodată seama și de valoarea curbelor izocromatice, adică $\sigma_1 - \sigma_2 = m\lambda$, în care $m = 1, 2, 3, \dots$ etc.

b) Prin măsurarea valorii $\sigma_1 + \sigma_2$. Măsurarea se poate face fie cu extensometrul imaginat de Mesnager și Coker, fie prin analogie cu alte probleme (Dirichlet), ținîndu-se seama de faptul că $\sigma_1 + \sigma_2$ trebuie să satisfacă în general ecuația

$$\Delta(\sigma_1 + \sigma_2) = 0. \quad (143)$$

c) Pe cale pur optică, după metoda de mare precizie a lui M. F a v r e (Elveția), care cere să se măsoare direct contractia absolută corespunzătoare fiecărei direcții principale, din care să se deducă apoi în mod separat valorile σ_1 și σ_2 . Pentru aceasta se folosește interferometrul.

Cu toată precizia mare, metoda n-a căpătat o largă aplicabilitate, lucrîndu-se cu ea experimental.

§ 14. MATERIALE FOTOELASTICE

Condiția esențială ce se cere materialelor fotoelastice este să aibă caracteristici bazate pe fenomenul denumit dubla refracție accidentală.

Principalele materiale utilizate, caracteristicile lor ca transparență, sensibilitate optică, elasticitate și lucrabilitate, precum și indicații privind

modul de folosire sînt date în tabela 6, după schematizarea dată de M. Milbauer.

Tabela 6

Materialul	Transparența	Sensibilitatea optică	Elasticitatea	Lucrabilitatea	Utilizare
Sticlă	excelentă	redușă	da	slabă	Numai la probleme foarte importante, modelele fiind scumpe
Celuloid	bună	mijlocie	parțială	foarte bună	Pentru modele plane și lipite
Plexiglas	excelentă	redușă	parțială	bună	Pentru modele plane și lipite
Perspex	excelentă	redușă	parțială	bună	Pentru modelele destinate lucrului la temperatură normală și ridicată
Decorit	bună	mare	parțială	mai slabă	Pentru modele de completare
Transpex	excelentă	redușă	parțială	bună	Pentru modele plane
Cauciuc	slabă	mare	da	slabă	Pentru încercări speciale

Scara modelului se alege în funcție de importanța problemei, precum și de dimensiunile fotoelasticimetrului și ale cadrelor de solicitare.

Pentru a exista analogie între model și prototip, adică eforturile unitare din model să corespundă eforturilor unitare de pe prototip, în punctele corespunzătoare, trebuie să avem îndeplinite condițiile de similitudine fizică pe care le redau după dr. J. Kožešnik (v. *Fyzikální podobnost a stavba modelů*, I.C.M.F., 1948).

Presupunînd scara modelului $1/n$, este necesar ca :

- să reducem sarcinile izolate în raportul $1/n^2$ (în kg);
- să reducem sarcina pe unitatea de lungime în raportul $1/n$ (în kg/m);
- să menținem neschimbată sarcina raportată la unitatea de suprafață (în kg/cm²);
- să mărim de n ori sarcina în funcție de volum.

Pentru a putea îndeplini și ultimul punct trebuie să înlocuim greutatea proprie prin forțe exterioare.

§ 15. INTERPRETAREA OBSERVAȚILOR PE MODELE FOTOELASTICE

Construcțiile masive, baraje, ferme, poduri și alte construcții similare se pretează studiului pe cale fotoelasticimetrică.

Ca exemplu de studiere a barajelor de greutate fotoelasticimetric se dă barajul elvețian *In den Schlagen*. La executarea modelului s-a ținut

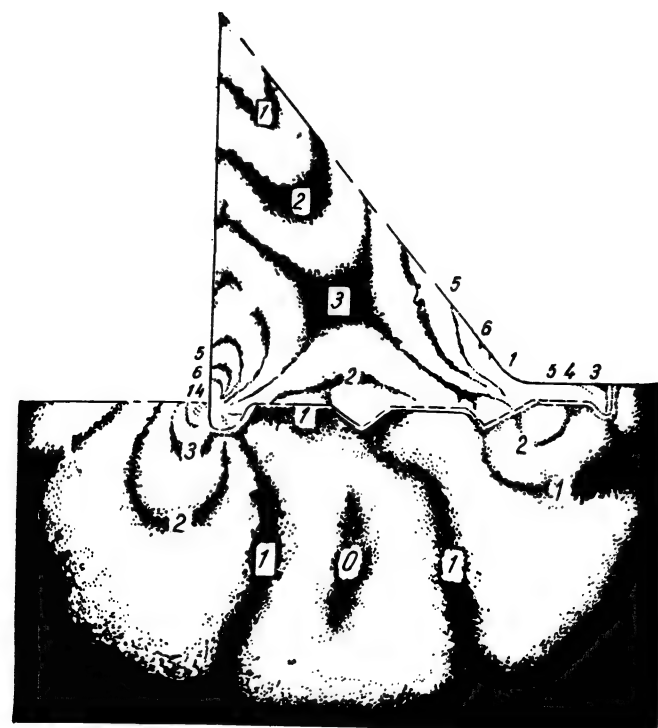


Fig. 196. — Barajul In den Schlagen. Curbele izocromatice.

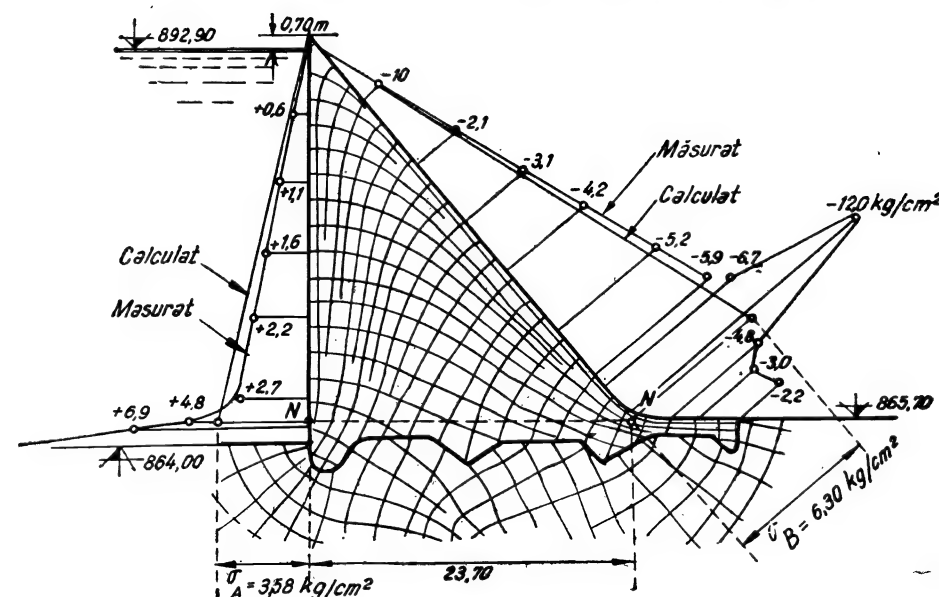


Fig. 197. — Barajul In den Schlagen. Traectoriile eforturilor principale.

seama de modulul de elasticitate al betonului și al rocii de fundație, care se găsesc în raportul de 2 : 1. În funcție de această cifră s-a stabilit raportul dintre grosimea modelului barajului și a rocii de fundație.

În figura 196 sînt rediate curbele izocromatice, iar în figura 197 sînt rediate în secțiunea aceluiași baraj traiectoriile tensiunilor principale, atît cele reieșite din calcul cît și cele obținute pe cale fotoelasticimetrică.

Urmărind variația eforturilor, se observă că eforturile sînt mai concentrate la piciorul amonte și aval al barajului, valoarea lor crescînd de la coronament spre fundație.

Necorespondența dintre valoarea eforturilor de la baza barajului obținută prin calcul și pe cale fotoelasticimetrică arată calitatea acestei metode de încercare.

Diferența se datorește faptului că în calculul teoretic nu se poate ține seama de compresibilitatea rocii de fundație, care se poate pune în evidență pe baza cercetărilor experimentale.

Prof. G. O b e r t i, în Institutul de cercetări pe modele al Școlii politehnice din Milano, a făcut un studiu fotoelasticimetric asupra unui sistem de conducte gemene, studiind comportarea statică a acestor conducte forțate.

Modelul a fost realizat la scara 1 : 52 din două materiale avînd caracteristici mecanice, elastice și plastice complet diferite: bachelită și celuloid.

Efectul rocii asupra conductelor a fost obținut prin folosirea unui inel (fig. 198).

Pentru încercări au fost folosite două modele. Unul din modele a fost executat din bachelită, care după cum se știe are o constantă fotoelasticimetrică ridicată și de aceea permite să se obțină o rețea de curbe izocromatice mai dese decît la modelul de celuloid, care are o constantă fotoelasticimetrică mai scăzută.

Sistemul folosit pentru aplicarea solicitărilor constă dintr-un disc metalic cu un diametru puțin mai mic decît diametrul interior al conductei, în jurul căreia s-a adăugat un inel de cauciuc cu secțiunea în formă de U și în care se pune ulei sub presiune cu ajutorul unei pompe. Citirea se face la un manometru de mare precizie.

Încercările s-au făcut în două ipoteze, adică în cazul a unei singure conducte sub presiune, precum și în cazul ambelor conducte sub presiune.

În figura 199 sînt rediate izoclinele și izostatele în cazul ambelor conducte sub presiune.

Din examinarea rezultatelor obținute s-au tras următoarele concluzii :

a) Tensiunile maxime obținute în cazul unei singure conducte sub presiune nu întrec tensiunile în cazul ambelor conducte sub presiune.

b) Tensiunile maxime absolute se găsesc la intradosul îmbrăcămînții în punctele extreme ale sectorului mediu. Pentru reducerea lor la valoarea celor de la intradosul părții laterale, s-a mărit distanța dintre axele celor două conducte gemene cu 20 cm, adică de la 3,40 m la 3,60 m.

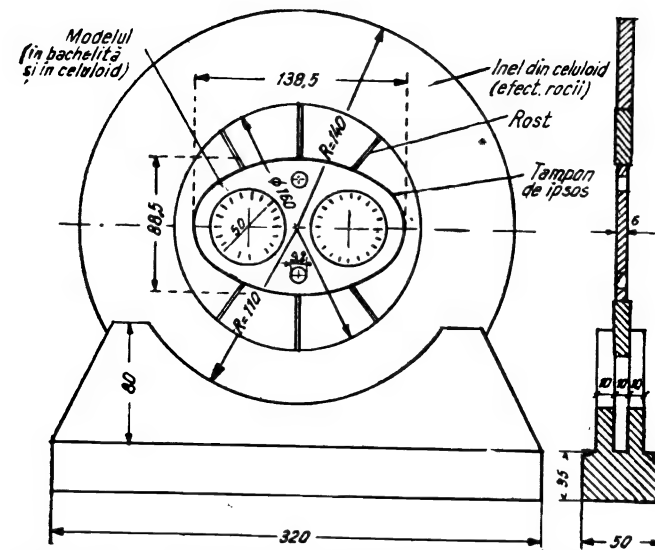


Fig. 198. — Schema instalației de experimentare a modelului fotoelastic.

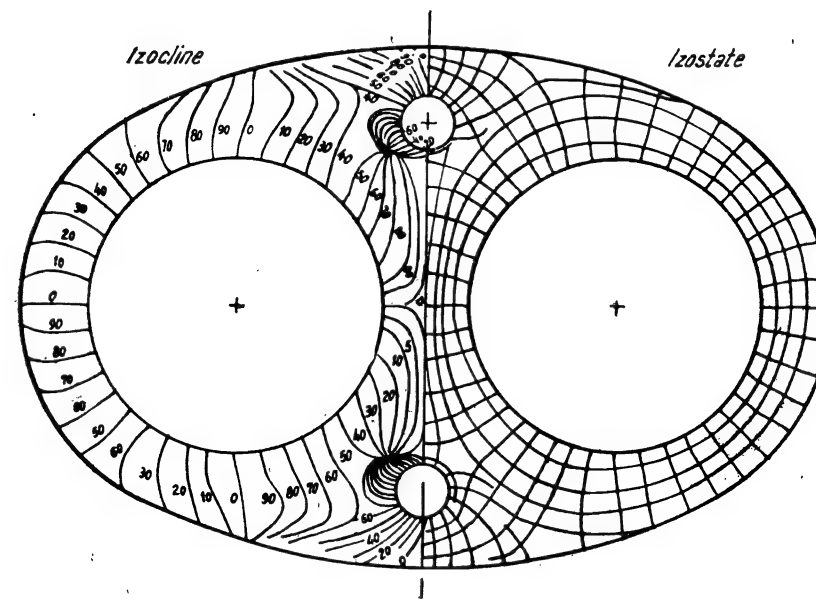


Fig. 199. — Izoclinele și izostatele în ipoteza ambelor conducte sub sarcină.

În cadrul secției de cercetări *Oddelení experimentální pružnost* de pe lângă Academia Cehoslovacă de științe îndrumată de Acad. Tesař, șeful secției fiind Miloš Milbauer, pentru stabilirea eforturilor pe cale fotoelastică în rostul de dilatație al unui baraj de greutate, construit în Č.S.R., — s-a făcut studiul pe modele din diferite materiale executate la scara 1 : 300.

Solicitarea modelului (fig. XLII) s-a făcut în două ipoteze: în ipoteza solicitării datorită numai greutății proprii și în ipoteza solicitării datorită atât greutății proprii, cât și presiunii hidrostatice.

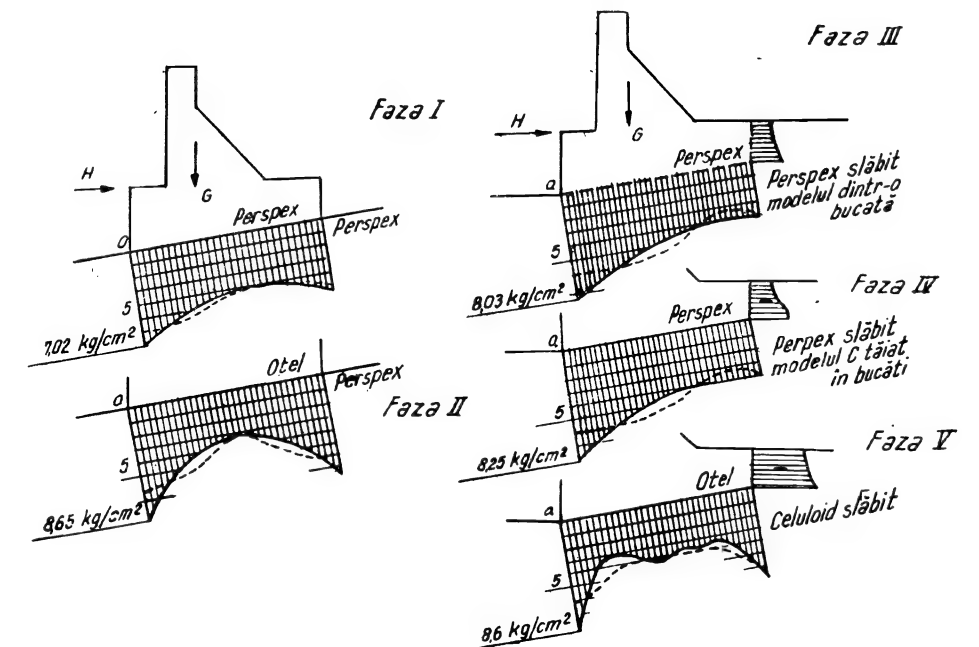


Fig. 200. — Diagramele eforturilor unitare normale în rostul de fundație rezultate în cinci măsurători pentru solicitare prin greutate proprie și presiune hidrostatică.

Cercetarea pe model s-a efectuat în mai multe faze:

Faza I: Solicitarea modelului din perspex numai datorită greutății proprii, apoi datorită greutății proprii și presiunii hidrostatice.

Faza II: Studiile efectuate în faza I au fost executate pe model, la care fundația a fost executată din perspex, iar barajul din oțel. Raportul dintre modulele de elasticitate a perspexului și oțelului sînt de circa 1 : 70.

Acste două faze reprezintă de fapt cazuri extreme, între care se pot intercala celelalte cazuri în conformitate cu diferite ipoteze admise.

Fazele III și IV: În aceste faze s-a urmărit stabilirea eforturilor în cazul modelului de fundație slăbit. Slăbirea modelului s-a bazat pe încercări comparative ale compresibilității materialelor din care s-au executat modelele.

Slăbirea a fost în funcție de alternanța stratelor de gresie și ardezie și a constat în reducerea grosimii modelului de la 10 mm la 2 mm.

Faza V: S-a caracterizat prin executarea modelului terenului din celuloid; slăbirea lui a fost făcută prin găurirea materialului, suprafața găurită reprezentând $\frac{4}{5}$ din suprafața inițială neslăbită.

Modelul din celuloid s-a încercat împreună cu modelul barajului din oțel.

De la curbele izocline și izocromate s-a trecut apoi la curbele izostate și apoi la calculul eforturilor normale în rostul de fundație. Diagrama acestor eforturi rezultate din cinci măsurători pentru solicitarea datorită greutății proprii și presiunii hidrostatice este redată în figura 200.

C. METODA LACURILOR INDICATOARE DE TENSIUNI

§ 16. GENERALITĂȚI

Încă înainte de primul război mondial s-a constatat că anumite lacuri și rășini, aderente la suprafața pieselor (modelelor) fisurează când piesa este supusă eforturilor de suprafață.

După punerea la punct de către M. Partevin, în jurul anului 1934, a diferite feluri de lacuri și rășini susceptibile de a fi utilizate pentru studiul suprafețelor pieselor, supuse eforturilor de suprafață, această metodă de studiere a eforturilor a fost deseori reluată și folosită în Uniunea Sovietică, Franța, America, Anglia, Cehoslovacia și alte țări unde, în cadrul laboratoarelor de studii și cercetări pe modele, există secții care se ocupă de rezolvarea eforturilor de suprafață pe această cale.

Această metodă de studiere se aplică cu succes la modelele din oțel și mai ales la cele din celuloid și mase plastice.

Studii experimentale atât prin calcul, în cazuri simple, cât și prin fotoelasticimetrie au permis identificarea precisă a fisurilor cu rețeaua de izostate astfel încât metoda, nu numai că este tentantă, dar prin faptul că pune la dispoziția inginerului practician posibilitatea de a executa el singur astfel de încercări pe modele, cu pierderi de timp relativ mici, ea va pătrunde în scurt timp în toate domeniile unde se studiază experimental repartiția eforturilor pe modele de tot felul.

§ 17. MATERIALE FOLOSITE

Ca materiale se folosesc rășini obținute fie pe cale naturală, fie pe cale sintetică.

Cele mai utilizate materiale sînt: sacizurile, lacul de copal etc. Proprietățile principale ce se cer acestor rășini și lacuri sînt:

- să fie aderente pe suprafața modelului;
- să nu prezinte plasticitate la temperatura ambiantă;
- să aibă punctul de fuziune cât mai coborît.

§ 18. METODE DE LUCRU

În general, metoda constă în a acoperi suprafața modelului studiat cu lacuri aplicate în cîmpul de eforturi, care apoi trebuie uscate în mod treptat și cu multă grijă.

Dacă modelul astfel lăcuit se așază într-un cadru de solicitare și solicitat fiind este depășită limita de elasticitate, lacul fisurează și fisurile urmează izostatele suprafeței, care sînt perpendiculare la direcțiile principale ale celor mai mari alungiri.

Se poate obține o a doua familie de izostate care este ortogonală la prima familie de izostate în modul următor: lacul-pastă se aplică pe un model solicitat și după uscare, dacă se suprimă brusc cîmpul de forțe, apare o altă rețea de izostate care sînt perpendiculare pe primele.

Studierea pe această cale ușurează stabilirea variației eforturilor pe modele complicate, deoarece cunoașterea rețelelor de izostate permit micșorarea numărului de observări necesar pentru determinarea stărilor de deformare.

Tehnica acestui studiu cunoaște două metode diferite de lucru.

Metoda 1. Se dizolvă lacul respectiv într-un solvent organic (alcool, benzină, toluen etc.) și cu o pensulă se întinde în mod uniform pe toată suprafața modelului.

După lăcuirea modelului acesta se introduce în etuvă la temperatură ce depinde atât de natura lacului cât și a solventului determinată mai înainte experimental pînă la evaporarea completă a solventului.

Se lasă apoi să se răcească lent și în funcție de familia de izostate care se dorește a se obține, se aplică forțele de solicitare.

Aplicarea forțelor în primul caz, după ce modelul a ajuns la temperatura ambiantă, suprimarea forțelor în al doilea caz, adică atunci cînd ele au fost aplicate o dată cu întinderea lacului, se produc fisurile dorite.

Metoda 2. Se întinde lacul sau rășina respectivă direct pe model, fără ca în prealabil să fi fost dizolvate.

Se încălzește apoi modelul pînă la temperatura de fuziune a rășinii sau lacului respectiv și apoi se aplică forțele după cum s-a arătat la metoda 1, pentru a se obține familia de izostate dorită.

Dezavantajul primei metode constă în faptul că necesită timp îndelungat pentru staționarea în etuvă, ceea ce îngreuiază mult lucrul cu modele de dimensiuni mari.

Metoda 2 este mai practică dar dă fisuri mai puțin clare, decît prima metodă.

§ 19. MODUL DE IDENTIFICARE A REZULTATELOR

Prin acest procedeu de lucru s-a reușit a se obține fisuri pentru alungiri de ordinul 10^{-4} .

Fisurile se produc în mod curent pentru valori de ordinul 4×10^{-4} . Claritatea fisurilor se accentuează prin diferite procedee chimice.

Ca metodă de redare a rezultatelor se folosește metoda fotografică.

Prin compararea cu benzi adecvate de probă care se deformează la sarcini cunoscute, tensiunile pot fi determinate cu o precizie de aproximativ 10%.

Din cauza simplității și a clarității această metodă ar trebui folosită pe scară largă.

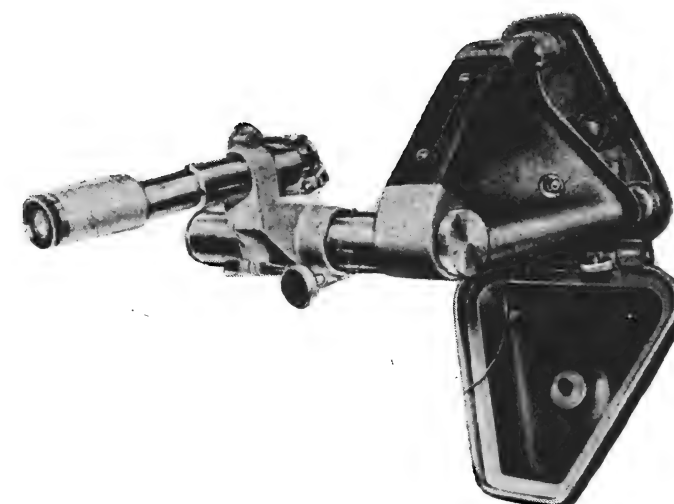
BIBLIOGRAFIE

1. Bourgin, *Cours de calcul des barrages*.
2. Borges I. Ferry, *Estudo experimental do campo de tensões pela rutura duma Camada aderente*. Laboratorio de Engenharia Civil, Lisboa, 1947.
3. Dawance M. G., *Une nouvelle méthode pour l'étude de la relaxation des fils d'acier*, Annales de l'Institut du Bâtiment et des Travaux Publics, nr. 9, Paris, 1948.
4. Dietrich O., Lehr E., *Das Dehnungslinienverfahren*. Verein deutsche Ingenieure — Zeitschrift für Metallkunde, v. 17, 1932.
5. Dureli A. J., *Experimental Determination of Isostatic Lines*, I. Applied Mechanics, Trans. ASME, v. 64, decembrie 1942.
6. Ehrenberg J., *Messungen an Staudämmen*, Zeitschrift des Vereines der Deutschen Ingenieure, Berlin, 1940, 495.
7. Filonenco M. M., Borodici, *Teoria uprugosti*, Moscova-Leningrad, 1947.
8. Föppel L., Mönch E., *Praktische Spannungsoptik*, J. Springer, Berlin, 1950.
9. * * * *Fourth Congress on Large Dam*, New-Delhi, 1951.
10. František Čach, *Měření deformací údolních přehrad geodetickými metodami*, S.N.T.L., Praga, 1955.
11. Friş S. E. s.a., *Curs de fizică generală*, vol. I, Ed. tehnică, 1952.
12. Gazzo, *Applicazione della legge di similitudine meccanica alla resistenza dei materiali*. Riv. maritt., 1939.
13. Gibson, *The Principle of dynamical similarity*. Engg., 1924.
14. Grişin M. M., *Gidrotehničeskie sooruzenie*. Moscova, 1947.
15. Hampe Magdenburg, *Temperaturschäden im Beton*, Bautechnik, august 1941.
16. Hermite R., *Le retrait des ciments, mortiers et bétons*. Circulaire F 37 Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics, nr. 251, ianuarie 1947.
17. Hetény M., *Handbook of Experimental Stress Analysis*. John Wiley and Sons, 1950.
18. Hetény M., Young W. E., *How Brittle Lacquer Strain Analysis Oids Design* — Machnia Design, v. 16, 1944, p. 147—151 și 268.
19. Horna O., *Odporové tensometry*, VTN, Praga, 1951.
20. Huggenberger A. U., *Die neuere Entwicklung der aufklebaren, elektrischen Widerstandsdehnungsgeber und die Bedeutung der Wheatstoneschen Schaltung als Messverfahren*. Schweizer Archiv, 1951.
21. — *Festigkeitsprüfung mit Hilfe des Klinometers*. Schweizerische Bauzeitung, 1932.
22. — *Prospecte*.
23. — *Talsperren-Messtechnik*. J. Springer, Berlin, 1951.
24. Ježdík-Malý, *Pozorování na přehradách*, Praga, 1949.
25. Juillard H., *La recherche et la mesure des deformations*, Genie Civil, 1933.
26. Kalinović B. I., *Bazele teoriei construcțiilor hidrotehnice*. Ed. energetică, 1952 (trad. din l. rusă).
27. Karpov Templin, *Model of Calderwood Arch Dam*. Proceedings, 1933.
28. Kožešnik J., *Fyzikální podobnost a stavba modelů*, J.C.M.F., 1948.
29. Kratochvíl S., *Meření na betonové přehradě*. Praga, 1951.
30. — *Údolné přehrady*. Bratislava, 1953.

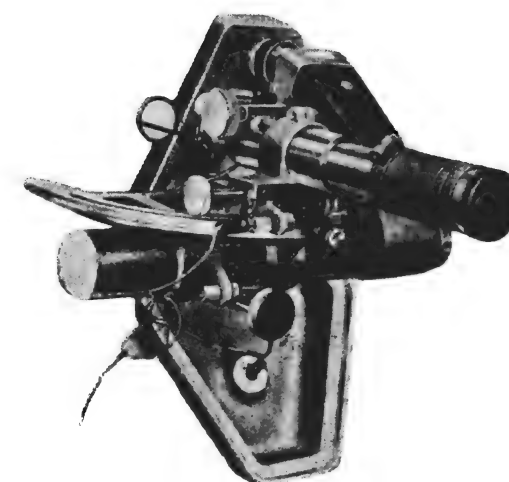
31. Kuske A., *Verfahren der Spannungsoptik* DIV. Düsseldorf, 1951.
32. Lang W., *Deformationsmessungen an Staumauern nach den Methoden der Geodäsie*, Bern, 1929.
33. — *Deformationsmessungen an Staumauern*. Congresul I al marilor baraje Stockholm, 1933.
34. Laudát S., *Kontrolní přístroje a zařízení b měření deformací přehrad*. TO, 1941.
35. Lazzarini T., *Geodezyjne pomiary odkształceń*. Varšova, 1952.
36. Lévy G., *Etude Photoélasticimétrique dans le contrefort d'un barrage, des contraintes produites par l'opposition de l'encastrement de la base à l'effet du retrait*. Congresul al II-lea al marilor baraje, Washington, 1936.
37. Lossmann K., *Základní tížných přehrad*, Praga, 1950.
38. Maihak A. G., *Akustische Messgeräte nach Dr. O. Schaefer* (prospecte).
39. * * * *Masinstrojenje — Tenzometrairovanie*, vol. III, Moscova, 1948.
40. * * * *Metra-Frič — Prospekt* (CSR).
41. Milbauer M., *Fotoelasticimetrie*, SNTL, 1953.
42. Musterle, *Die Temperaturmessungen in der Staumauer der Saaletalsperre am „Kleinen Bleiloch“*. Die Bautechnik. Berlin, 1937, p. 729.
43. Nachtkal F., *Technická fyzika*. IČ.M.F., Praga, 1946.
44. Norris, *Model Analysis of Structures*. Proceedings, 1944.
45. Oberti G., *Risultati di studi sperimentali eseguiti sopra un modello di diga ad arco recentemente costruita*. L'Energia Elettrica, Milano, 1940, 11.
46. — *Diga del Lumiei. Criteri di progetto e studi sperimentali*. Milano, 1940.
47. — *Uso dei modelli per lo studio dello stato di sollecitazione in strutture*. EE, 1936.
48. — *Ricerche sul comportamento statico delle condotte forzate in roccia di Soverzene*. Milano, 1949.
49. Petřík M., *Strunové Tensometry*. Praga, 1953.
50. Pfeiffer A., *Ein elektromagnetisches Gerät zur Fernmessung von Formänderungen in Bauwerken*. Bauing., 1935, 52.
51. Press, *Setzungsbeobachtungen an Bauwerken*. Die Bautechnik, 1941, 17.
52. Probst, *Deformationsmessungen an 65 hoher Gewichtsstaumauern*. Congresul al II-lea al marilor baraje Washington, 1936.
53. Raphael S. M., *The Development of Stresses in Shasta Dam*. Proceedings, 78, 1952.
54. Rohrer H., *Geodätische Untersuchungen der Formänderungen von Staumauern*. Zeitschrift der österreichischen Ingenieur und Architekten-Vereines, Wien, 1930.
55. Reindl, *Die Talsperren in Deutschland* W. u. W., 1931; *Bemerkenswerte neue Wasserkraftanlagen in Italien* — Wasserkraft und Wasserwirtschaft, 1941.
56. Rocha M., *Model Tests of Santa Luzia Dam*. Congresul al III-lea al marilor baraje, Stockholm, 1948.
57. — *Dimensionnement expérimental des constructions*. Annales de l'institut technique du bâtiment et des travaux publics, 1952, 2.
58. Santo Rini, *La mesure des tensions et des températures dans un barrage en béton au moyen de courants à haute fréquence*. La Génie Civil, 1932.
59. — *Sur la mesure des tensions absolues, dans le corps d'un ouvrage en béton en particulier d'un grand barrage*. La Génie Civil, 1930.
60. * * * *Sborník prác o člepených priehradách*. S.V.T.L., Bratislava, 1955.
61. Scheel, *Elementare Einheiten und ihre Messung*. J. Springer, 1926.
62. Schweizerische Talsperrenkommission, *Messungen, Beobachtungen und Versuche an Schweizerischen Talsperren*, Zürich, 1946.
63. * * * *Termometre electrice, Studii și cercetări de fizică*, Ed. Acad. R.P.R., iul-dec., 1954.
64. Terzaghi, *Verfahren zur Messung der Bewegung betonierten Talsperren*. Congresul I al marilor baraje. Stockholm, 1933.
65. Tennessee Valley Authority, *Measurements of the Structural Behavior at Fontana Dam*, Knoxville Tennessee 1953.
66. — *Measurements of the Structural Behavior of Norris and Hiwasee Dams*, Knoxville Tennessee 1950.
67. Tesář V., *Compte rendu de l'étude des procédés photoélasticimétriques et leur application aux barrages voûtés*. Ann. Ponts Chauss., 1937, p. 627—662.
68. — *Stanovení napětí v modelech konstrukcí inženýrských metodou optickou*, Technický obzar. Praga, 1925.
69. * * * *Third Congress on Large Dams*, Stockholm, 1948.
70. Tölke F., *Spannungsoptische Untersuchung von Talsperren*. Bauing., 1938, 345.

71. Thölke F., *Talsperren—Staudämme und Staumauern Wasserkraftanlagen*, 1938.
72. Tschsch-Jaburek, *Statische Modellversuche an Gewölbestaumauern*. Schw. Bautzg., 1951.
73. * * * *Über Messungen der Wassertemperaturen im Stauweiher von Molato Provinz Piacenza*. Wasserkraft und Wasserwirtschaft, München, 1943, 45.
74. Ughincius A. A. s.a., *Kontrolno izmeritelnaia apparatura ghidrotehnikeskikh soorujenii*, Moscova, 1954.
75. — *Issledovanie ghidrotehnikeskikh soorujenii*, 1939.
76. Untersee V., *Die geodätische Methode zur Ermittlung der räumlichen Deformationen von Staumauern*. Bern., 1951.
77. Varaxin V. A., *Experiența exploatării construcțiilor hidrotehnice ale centralelor hidro-electrice*. Ed. energetică, 1952 (trad. din l. rusă).
78. Weitzmann, *Novější metody fotoelasticimetrie*. Technický obzor, Praga, 1941, 146.
79. Ziegler P., *Die geometrischen und die tatsächlichen Verformungen von Gewölbesperren*. Die Deutsche Wasserwirtschaft, Berlin, 1940, 369.
80. — *Der Talsperrenbau*. Ernst & Sohn, Berlin 1927.

FOTOGRAFII PENTRU DOCUMENTARE



a)



b)

Fig. 1. — Coordiscop tip Huggenberger.

a) pentru o direcție de măsurare pe placa de susținere;
b) pentru două direcții de măsurare pe placa de susținere.

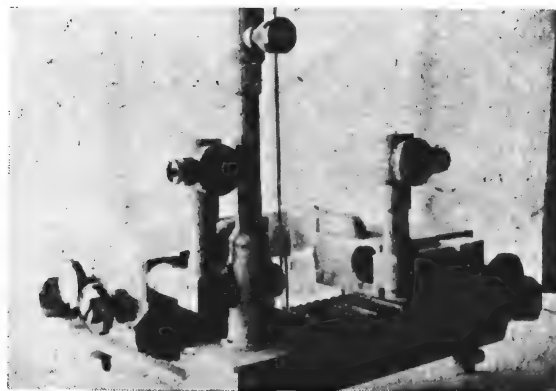


Fig. II. — Pendelmetru optic de producție cehoslovacă (vedere generală).

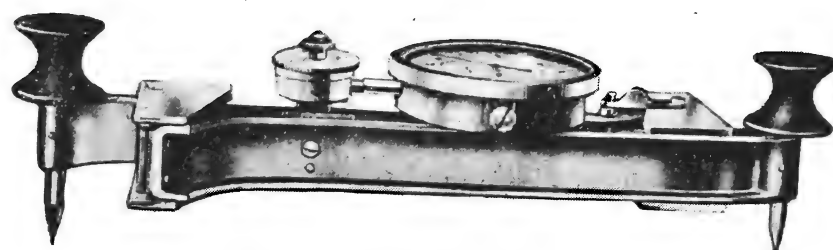


Fig. III. — Deformetrul tip Huggenberger.



Fig. IV. — Clinometrul tip Huggenberger.



Fig. V. — Clinometrul de producție cehoslovacă.

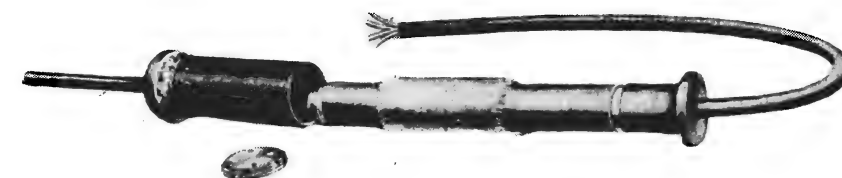


Fig. VI. — Teledilatometrul tip Huggenberger.

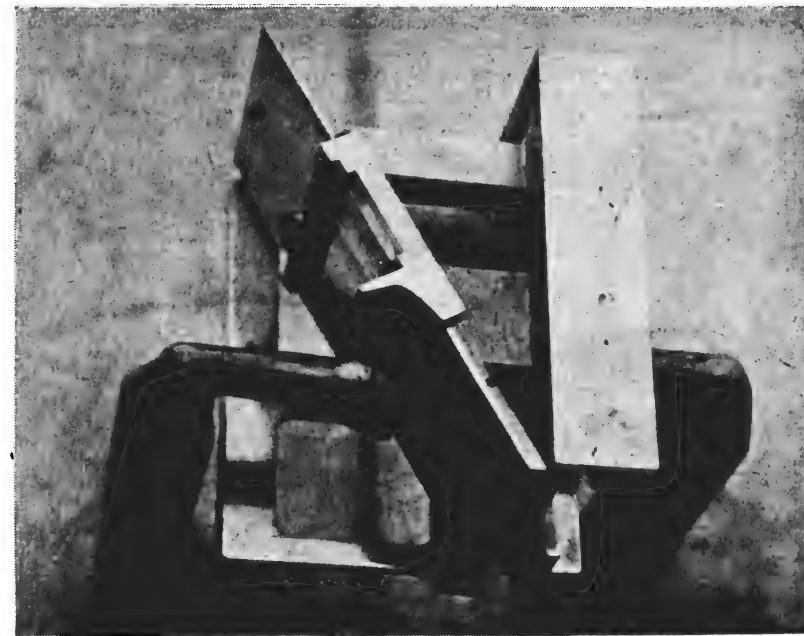


Fig. VII. — Dilatometrul tip Čermac (Č.S.R.).



Fig. VIII. Ruletă pentru măsurarea tasărilor la diguri.



Fig. IX. — Dispozitivul ruletei pentru măsurarea tasărilor la diguri.

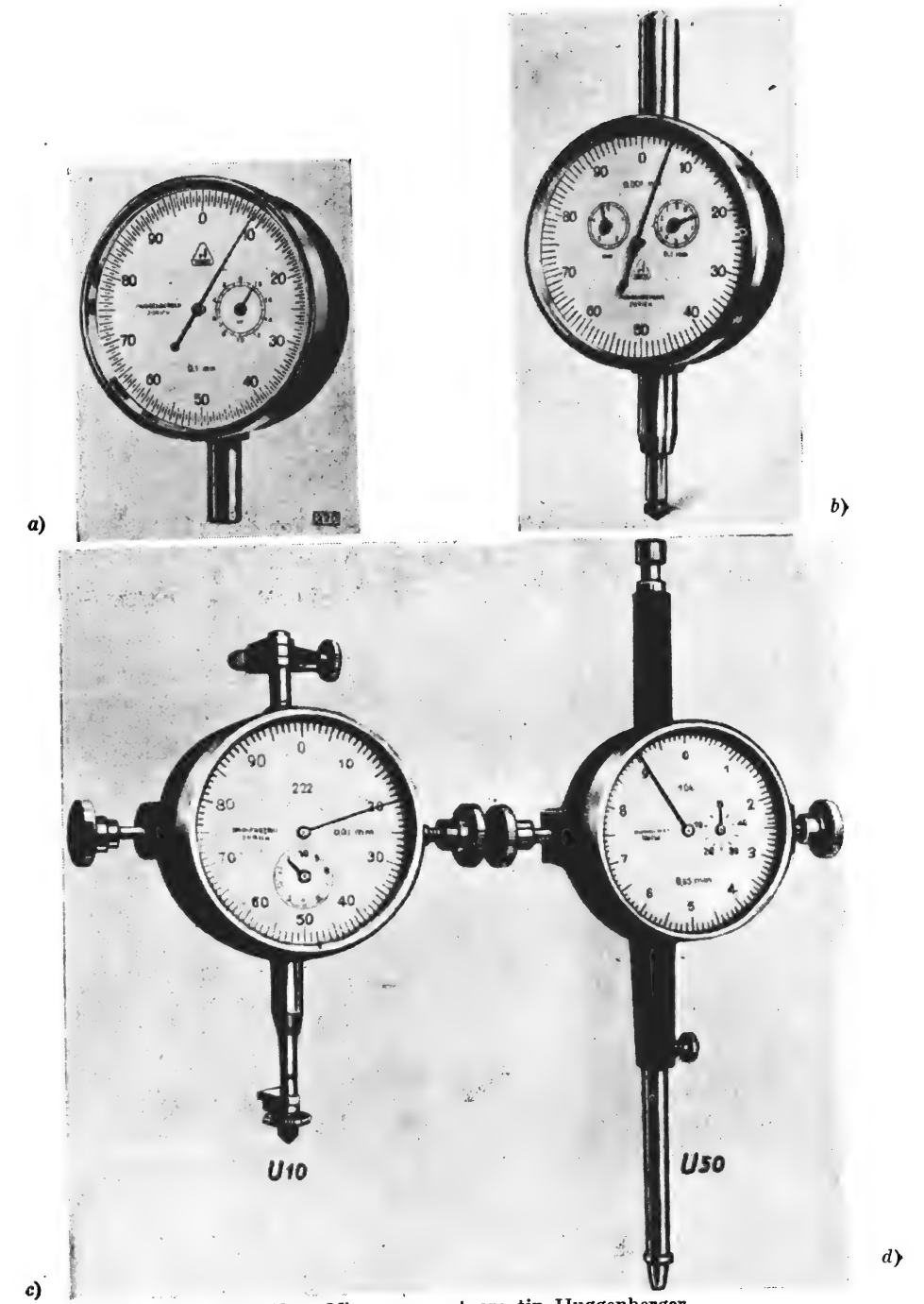
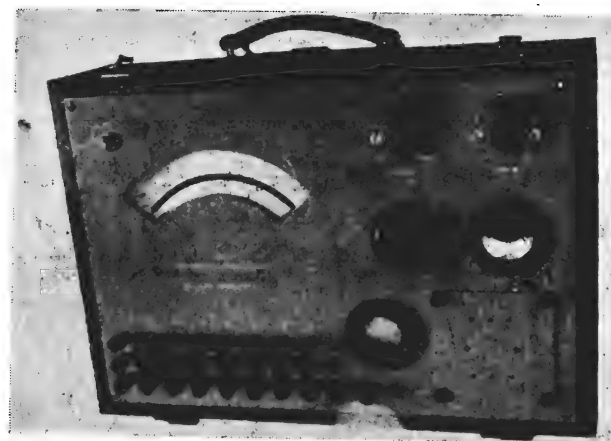


Fig. X. — Microcomparatoare tip Huggenberger.
a) U200 precizie 1/10 mm ; b) U5 precizie 1/1 000 mm ; c) U10 precizie 1/100 mm ; d) U50 precizie $\frac{1}{10}$ și $\frac{1}{20}$ mm.



a) aparatul indicator;

b) doza emițătoare și suportul;

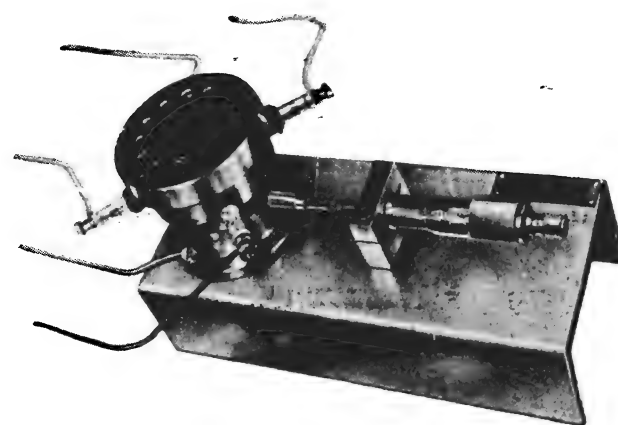
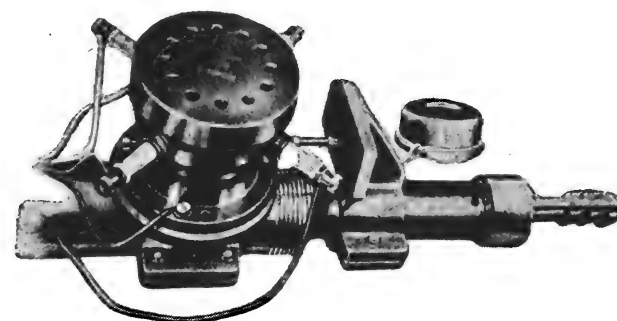
c) dispozitivul de etalonare al
dozei emițătoare.

Fig. XI. — Verificatorul de galerie tip Huggenberger.

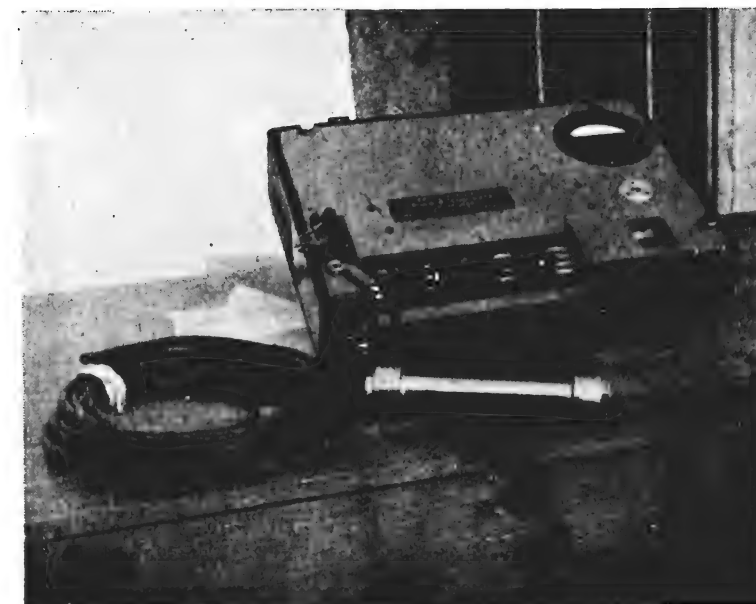
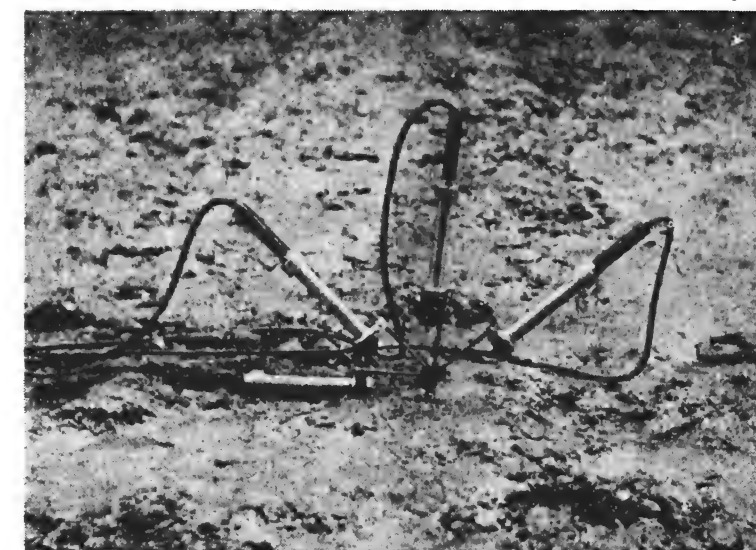
Fig. XII. — Puntea de măsurare pentru tensometre electroacustice
de producție cehoslovacă.

Fig. XIII. — Rozetă cu tensometre electroacustice.



Fig. XIV. — Cimp de măsurare cu tensometre electroacustice.



Fig. XV. Îmbetonarea rozetei.



Fig. XVI. — Canalele pentru conducerea cablurilor de la formele de lucru.



Fig. XVII. — Teleformetrul rezistiv tip Huggenberger.



Fig. XIX. — Tiparul tensometrului de nul.

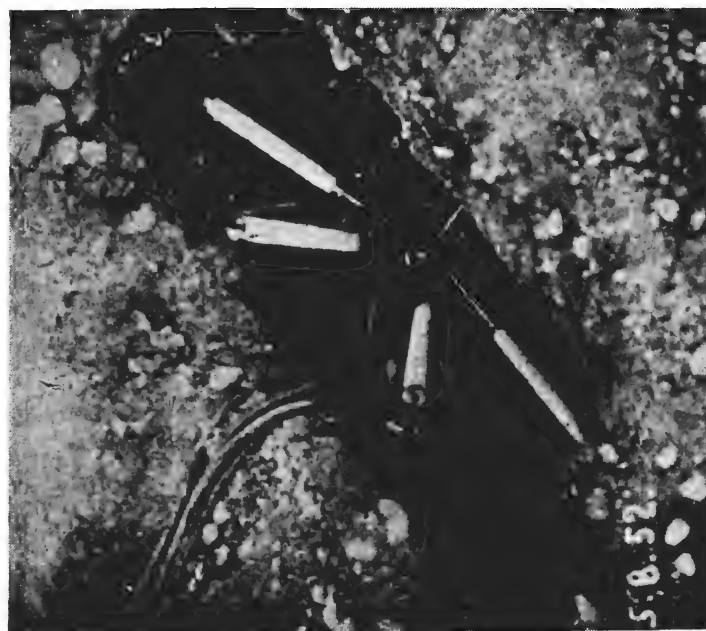


Fig. XVIII. — Rozetă cu teleformetre rezistive.

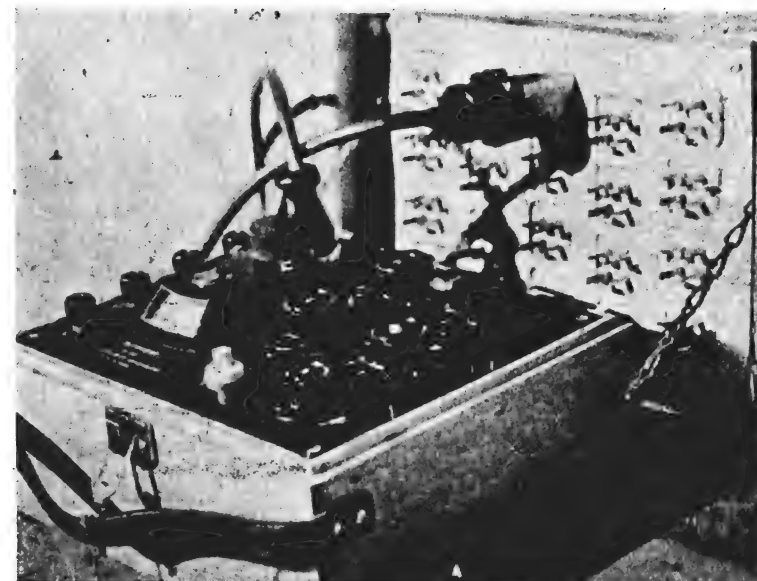


Fig. XX. — Măsurarea în stația de măsurători (telohmetrul și cutia terminală pentru 20 puncte de măsurare).

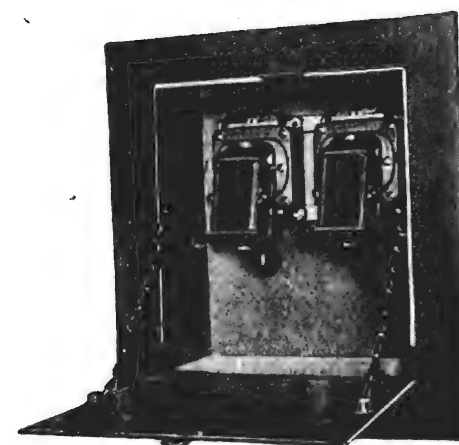


Fig. XXI. — Fișa terminală cu două puncte de măsurare.

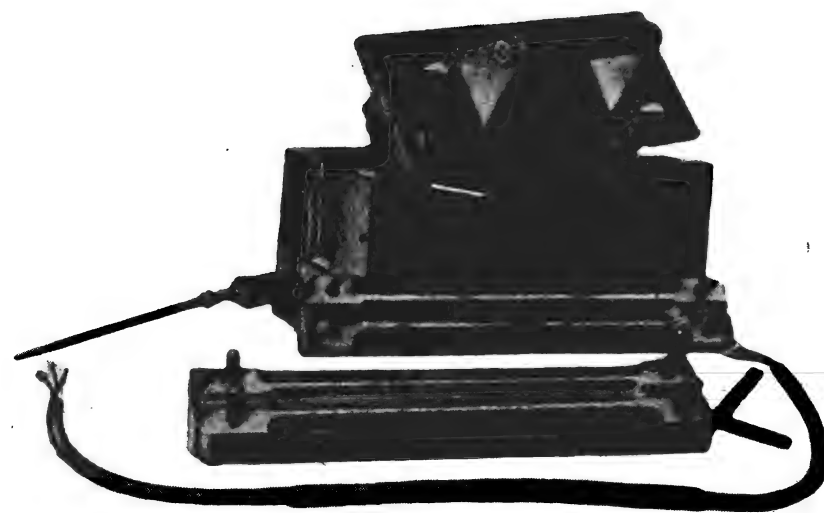


Fig. XXII. — Aparatul de vulcanizat cabluri tip Huggenberger.



Fig. XXIII. — Modelul instalației de cercetare a modului de elasticitate, a curgerii lente și a coeficientului Poisson direct în corpul construcției (după USHK Brno).

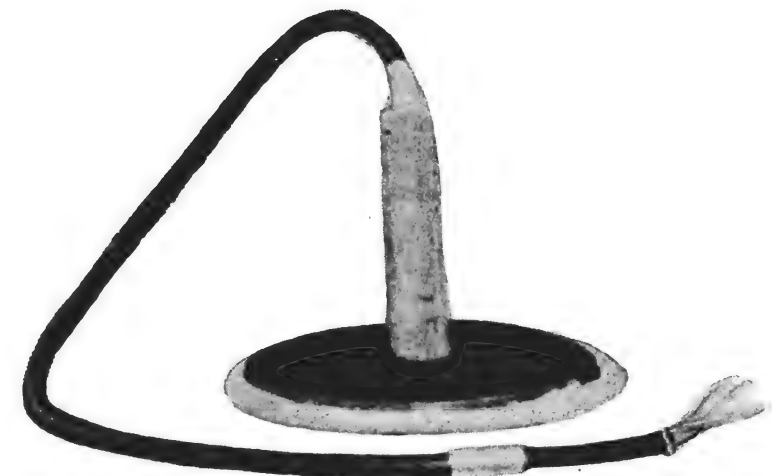


Fig. XXIV. — Telepresmetrul tip Huggenberger.

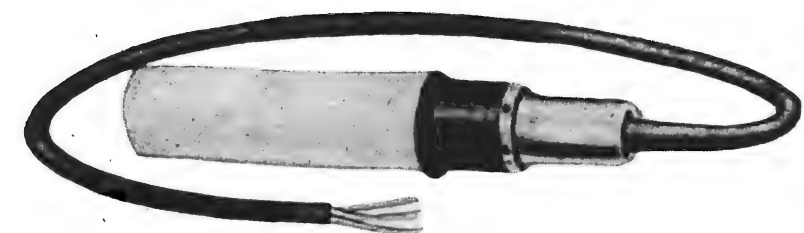


Fig. XXV. — Telehumetrul tip Huggenberger.

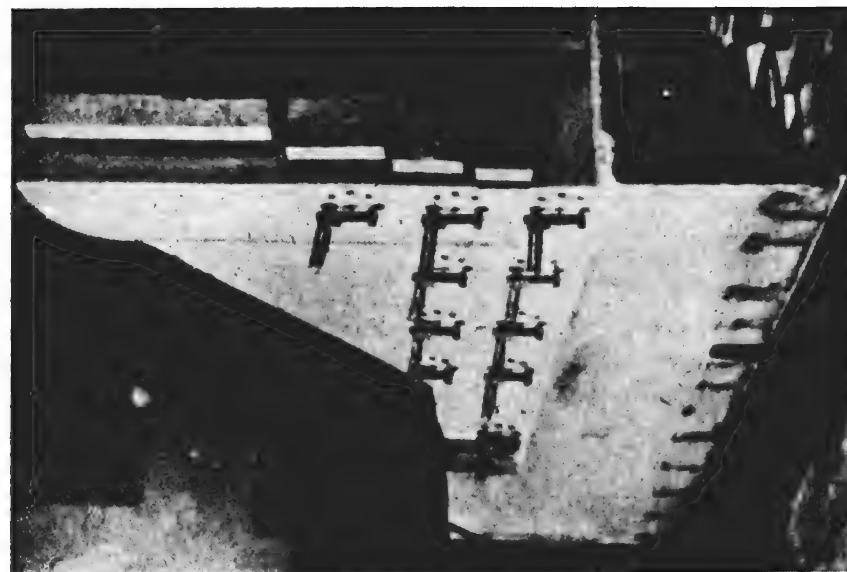


Fig. XXVII. — Modelul pilei barajului Křimov (studierea deformațiilor cu ajutorul extensometrelor mecanice). Presiunea hidrostatică s-a înlocuit prin perne de cauciuc.

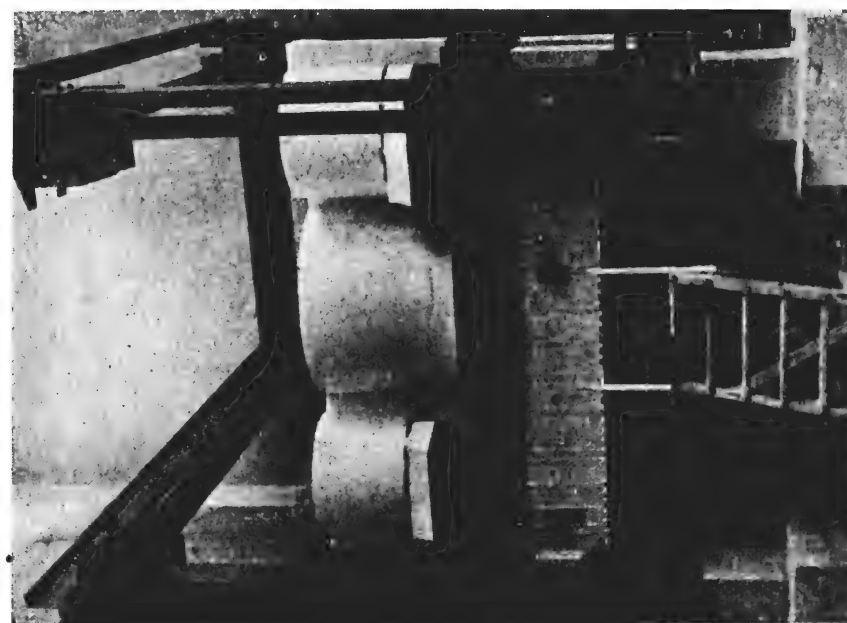


Fig. XXVI. — Modelul barajului Křimov.

Fig. XXVIII. — Modelul pilei barajului Křimov (greutatea proprie s-a înlocuit prin intermediul unui coș de sirmă și a unei plăci de distribuție).

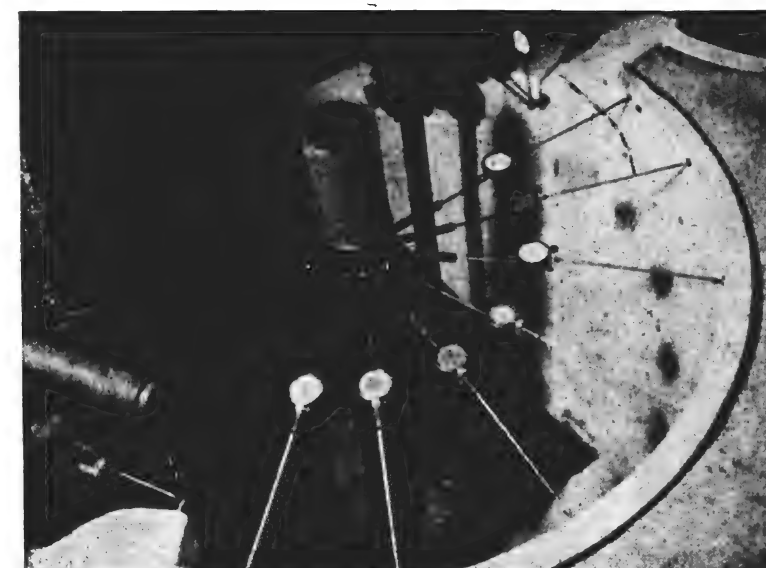


Fig. XXIX. — Modelul barajului Křimov. Determinarea deplasărilor în aval cu ajutorul microcomparatoarelor susținute de o structură metalică.

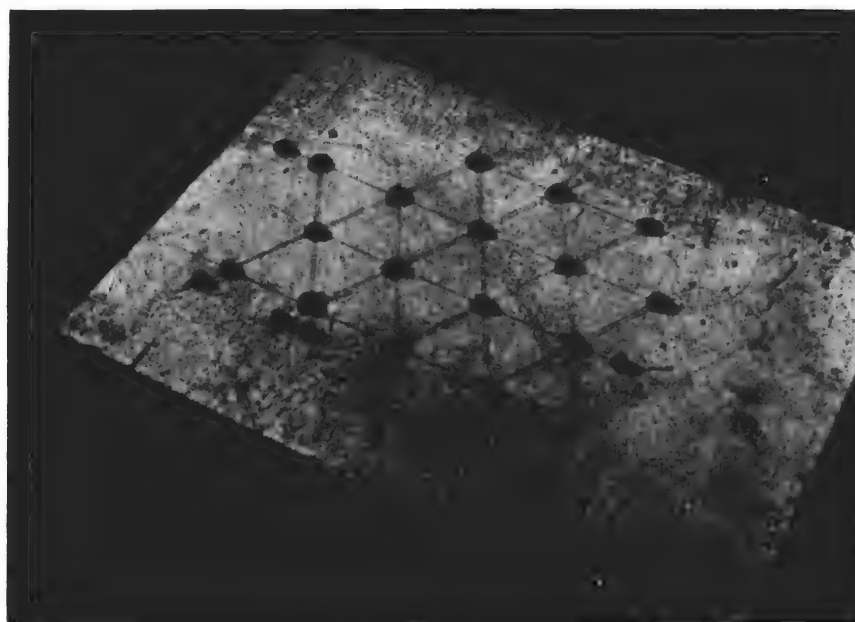


Fig. XXX. — Rețeaua liniară de măsurători la modele.



Fig. XXXI. — Modelul barajului Santa Luzia (Portugalia).



Fig. XXXII. — Modelul unui radier pentru rezervoare.
Studiarea deformațiilor cu ajutorul mărcilor electrice.

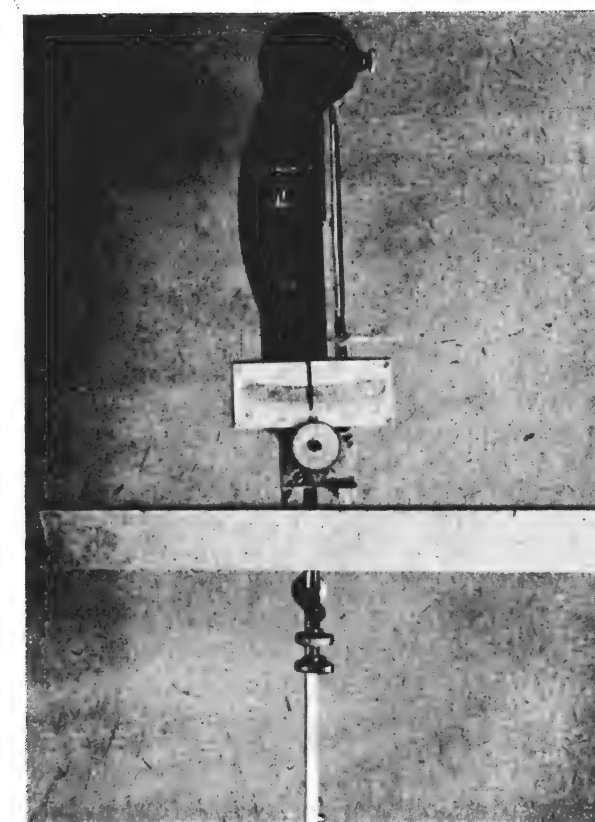


Fig. XXXIII. — Extensometrul mecanic tip Hugenberger.

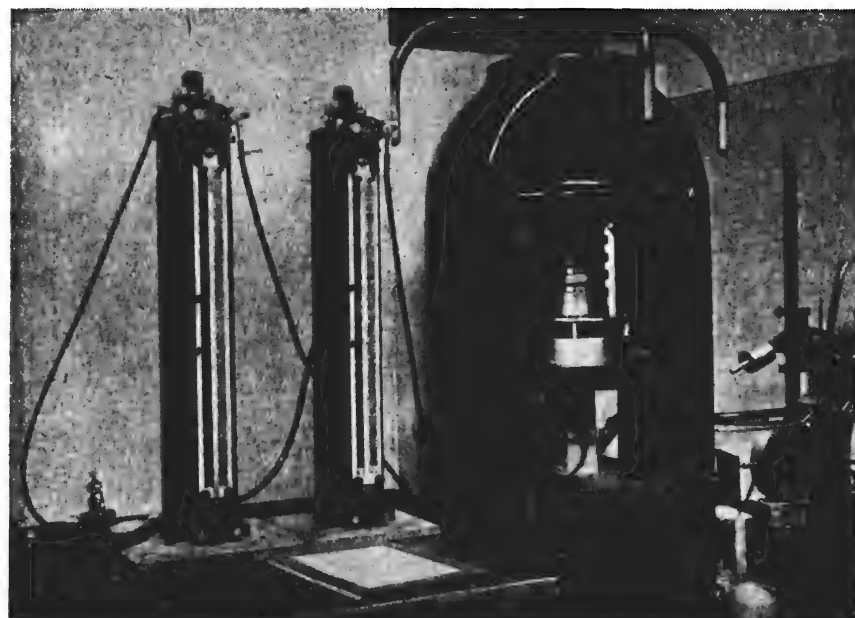


Fig. XXXIV. — Extensometre pneumatice tip Sollex (Franța). Studierea modului de elasticitate la o epruvetă.

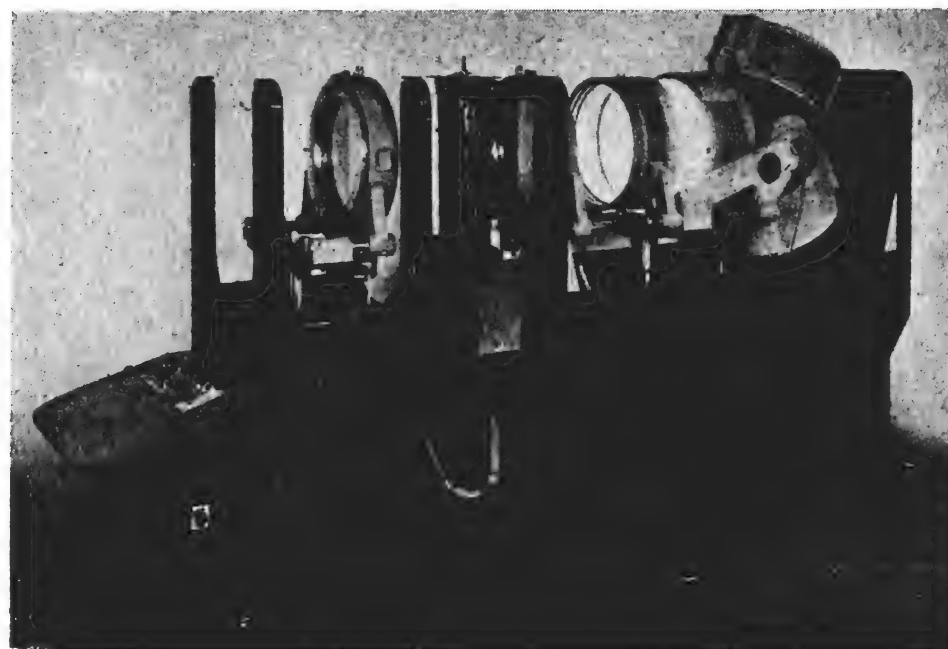


Fig. XXXV. — Fotoelasticimetrul FMB-55 pentru lumină directă.

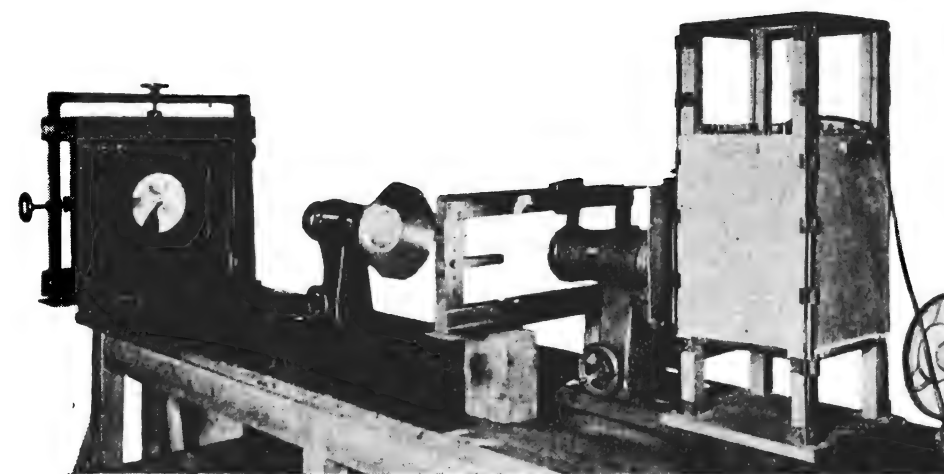


Fig. XXXVI. — Aparat de polarizare cu lumină redresată pentru laboratoare optice.



Fig. XXXVII. — Fotoelasticimetrul Pondichéry (Franța) cu lumină dirijată. Permite observări vizuale prin proiecții, observări fotografice și cinematografice (după Jobin & Yvon).

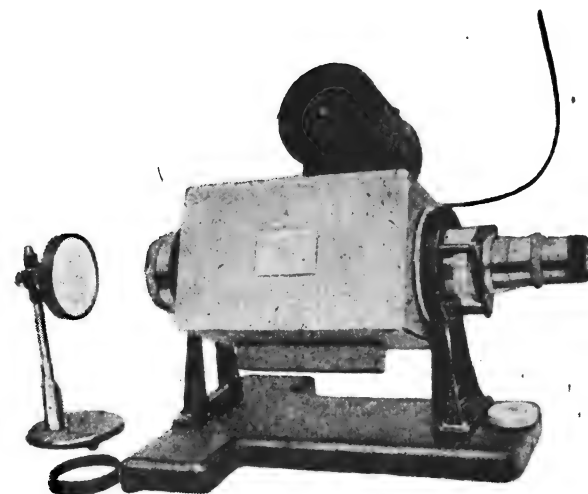


Fig. XXXVIII. — Autocolimatorul Mahé (Franța) pentru lumină reflectată (după Jobin & Yvon).

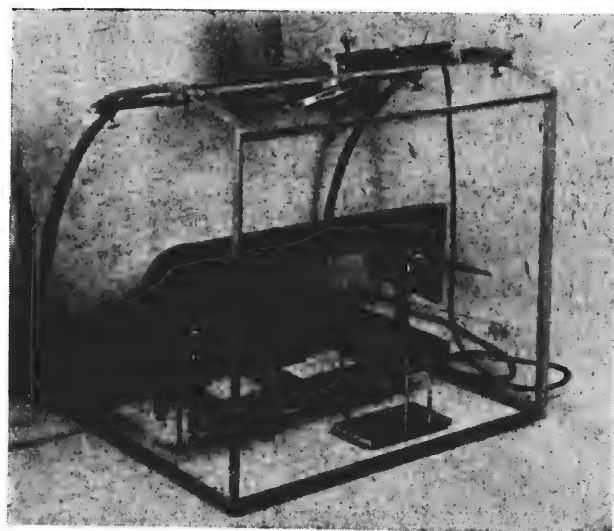


Fig. XXXIX. — Autocolimator. Folosirea aparatului la studierea unei bolți.

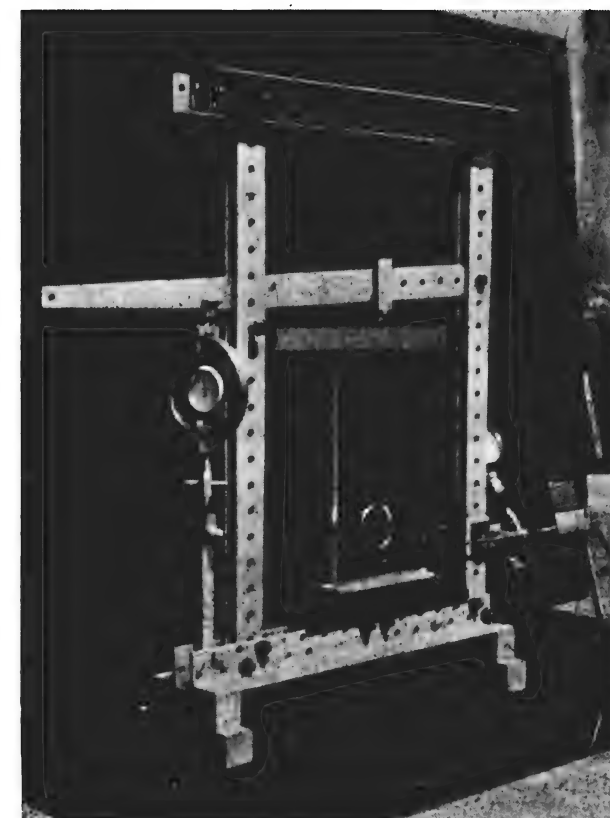


Fig. XL. — Cadrul de solicitare pentru modele mici, înzestrat cu dinamometru pentru măsurarea forțelor. (după USHK Brno).



Fig. XLI. — Sistemul de solicitare al unui model de formă tip „Polonceau” (după M. Milbauer).

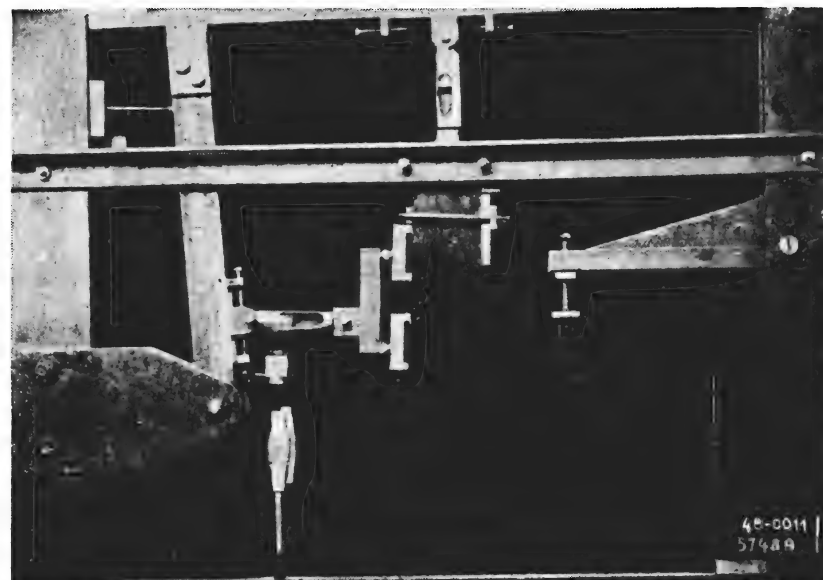


Fig. XLII. — Modelul unui baraj în cadrul de solicitare. Solicitare prin greutate proprie, prin presiune hidrostatică și prin greutatea apei pe paramentul aval (după M. Milbauer).



a)



b)

Fig. XLIII. — Modelul unei grinzi de sticlă, simplu rezemată și solicitată cu o singură sarcină la mijloc, în lumină polarizată circular. (după M. Milbauer).

a) Curbele izocromate viu colorate sînt deranjate de curba izoclină întunecată;
b) prin intercalarea lamelor sfert de undă, curbele izocline dispar.



Fig. XLIV. — Stăvilarul Kachovka (U.R.S.S.).



Fig. XLV. — Barajul și centrala hidroelectrică (R.P. Chineză).



Fig. XLVI. — După inaugurare, asistența la miting vizitează barajul în bolți multiple (R.P. Chineză).



Fig. XLVII. — Barajul și centrala hidroelectrică Jablonec (R.F.P. Iugoslavia).

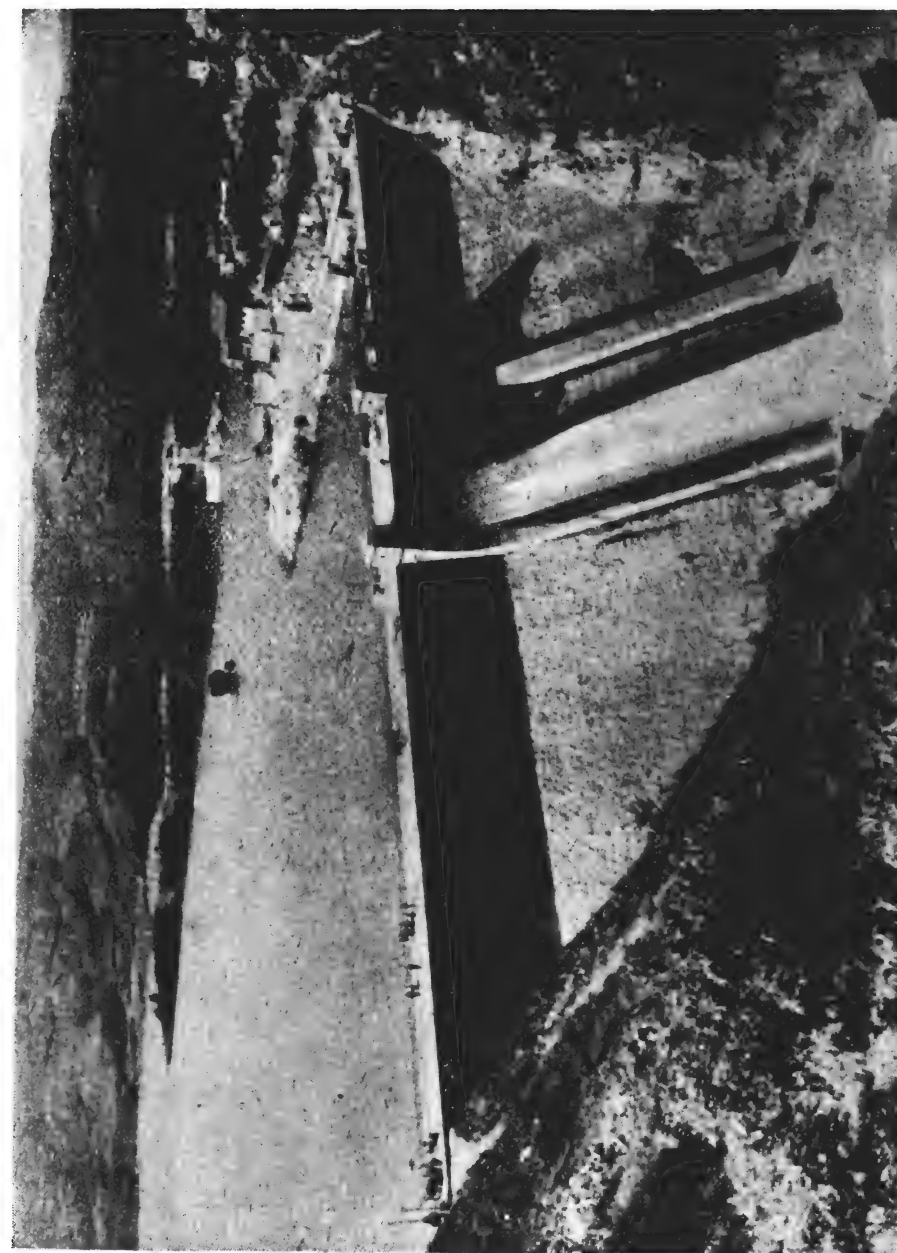


Fig. XLVIII. — Barajul și lacul de acumulare „Stalin” (R.P. Bulgaria).

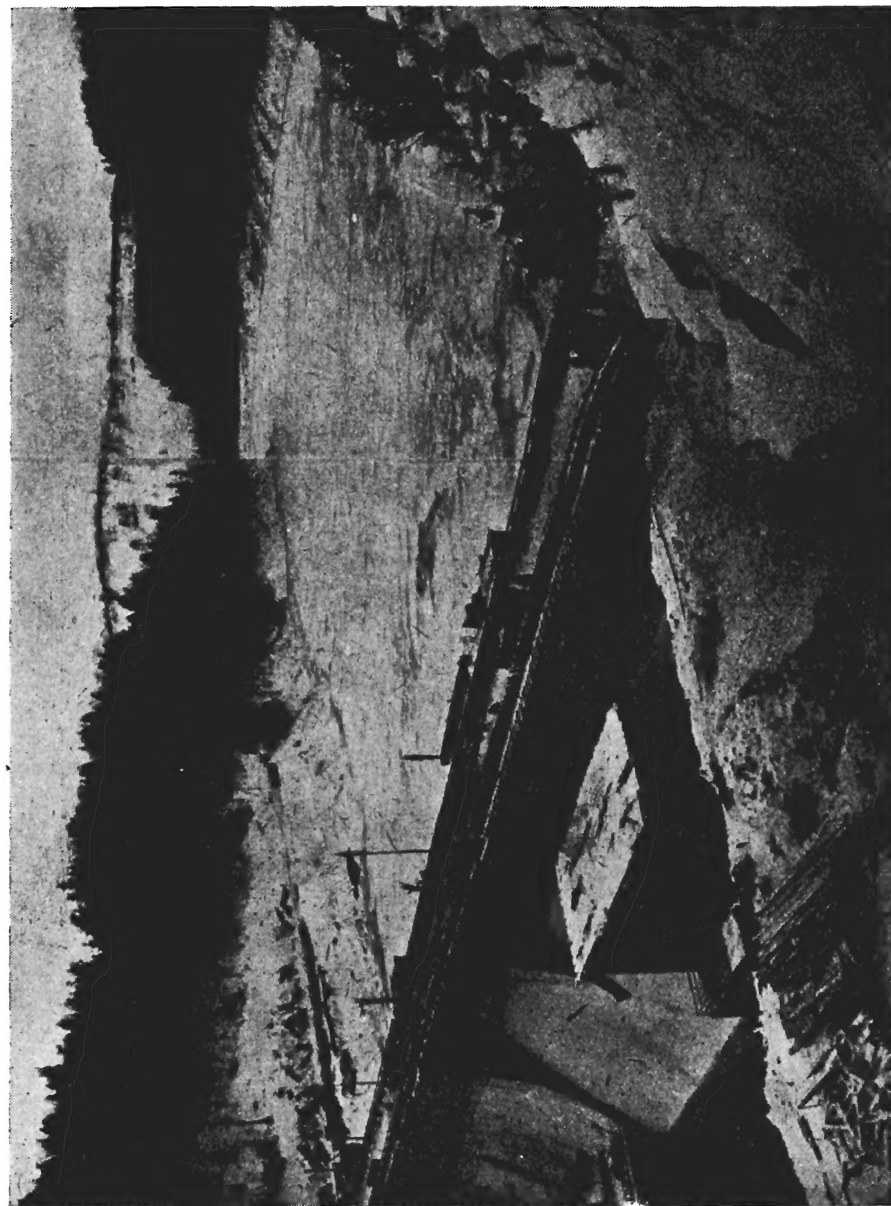


Fig. XLIX. — Barajul și lacul de acumulare Križanovice (C.S.R.).

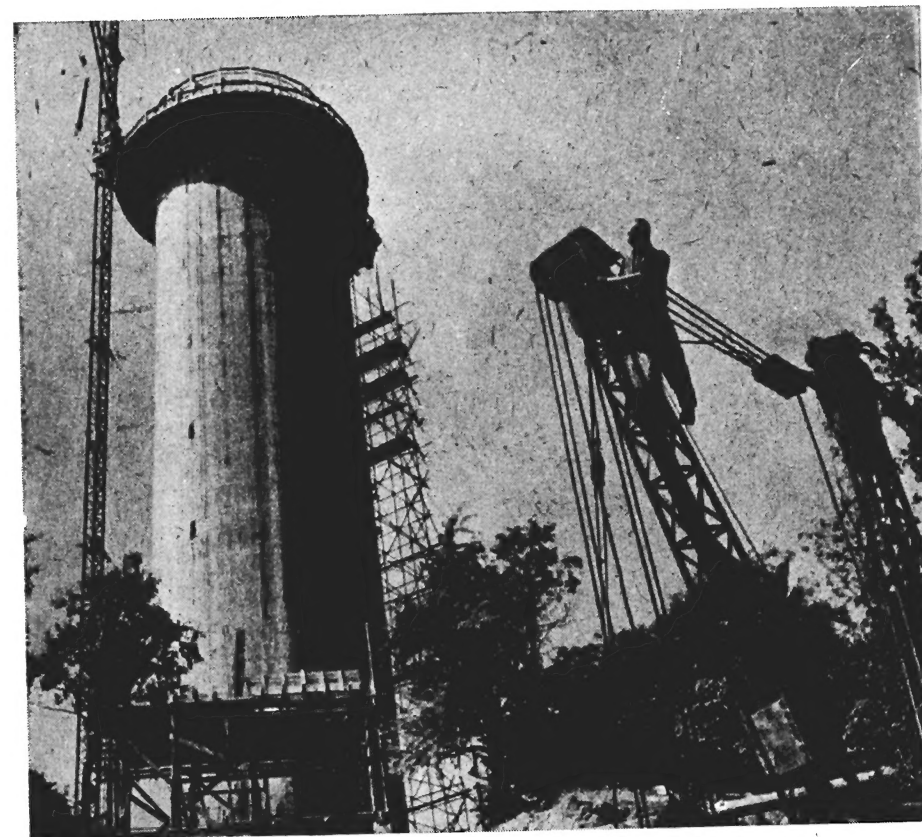


Fig. L. — Castelul de apă de lângă Križanovice.

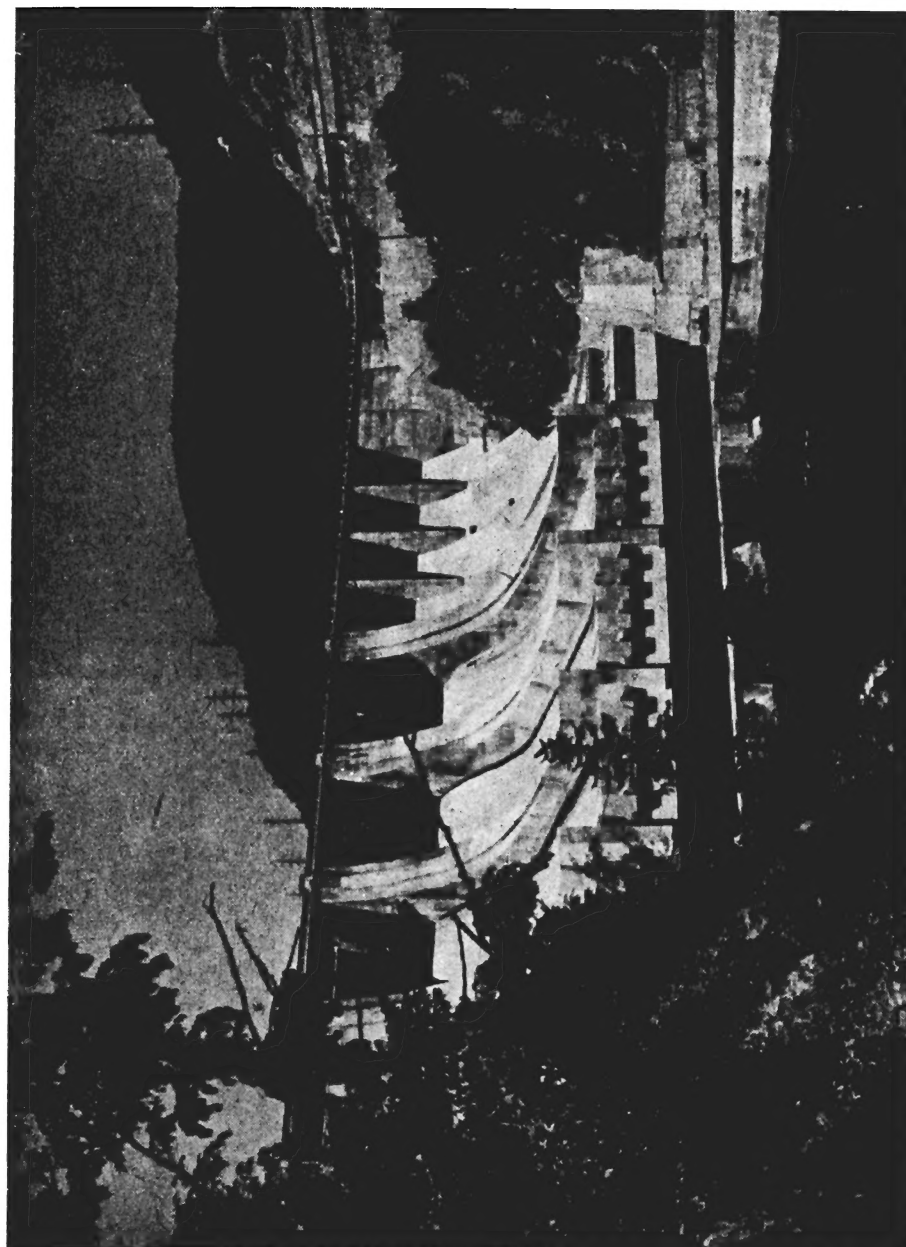


Fig. LIV. — Barajul Slapy (vedere generală).

TABLA DE MATERII

	<u>Pag.</u>
Prefața	5
Introducere	7
CAPITOLUL I	
Considerații generale privind tehnica măsurătorilor în construcțiile masive . .	9
§ 1. Necesitatea executării măsurătorilor de deformații și factorii ce trebuie determinați prin aceste măsurători	9
§ 2. Scopurile executării măsurătorilor de deformații	16
§ 3. Metode de observație și cercetare, aparate și dispozitive de control folosite în tehnica măsurătorilor	18
§ 4. Modul de lucru în tehnica măsurătorilor de deformații	21
§ 5. Personalul tehnic necesar executării măsurătorilor de deformații în construcțiile masive	23
§ 6. Dezvoltarea tehnicii măsurătorilor de deformații	24
CAPITOLUL II	
Măsurători de deformații din exteriorul construcțiilor masive	29
A. Măsurători geodezice	29
§ 1. Clasificarea măsurătorilor	29
§ 2. Bornarea construcțiilor masive	35
§ 3. Calculul deplasărilor folosind metoda geodezică	40
§ 4. Avantajele și dezavantajele metodei geodezice	43
B. Măsurători pendulare în puțuri	44
§ 5. Scopurile măsurătorilor pendulare	44
§ 6. Principiul de măsurare	44
§ 7. Funcționarea pendulului	45
§ 8. Părțile componente ale unei instalații pendulare	46
§ 9. Metode de citire	48
§ 10. Sisteme de instalații pendulare	50
§ 11. Îngrijirea instalațiilor pendulare	64
C. Măsurarea deformațiilor suprafețelor	65
§ 12. Scopul măsurătorilor	65
§ 13. Descrierea și caracteristicile de bază ale aparatului	65
§ 14. Locul de amplasare, ordinea de așezare și metoda de măsurare	67
§ 15. Înregistrarea, calculul și valorificarea măsurătorilor	70
§ 16. Instrucțiuni pentru folosire și manipulare	73
§ 17. Avantajele și dezavantajele pe care le prezintă aparatul	73
D. Măsurarea înclinării construcțiilor	73
§ 18. Scopul măsurătorilor	73
§ 19. Principiul de măsurare	78

	Pag.
§ 20. Proiectarea și amenajarea bazei măsurătorilor	80
§ 21. Reguli de măsurare	81
§ 22. Îngrijirea aparatelor	82
§ 23. Înregistrarea măsurătorilor și calculul	82
§ 24. Verificarea clinometrului	84
E. Măsurarea rosturilor de dilatație	85
§ 25. Scopul măsurătorilor	85
§ 26. Aparate și dispozitive folosite în practică	85
§ 27. Principiul de măsurare	89
§ 28. Înregistrarea măsurătorilor și calculul	89
§ 29. Reguli de instalare și îngrijire a aparatelor	91
F. Măsurarea fisurilor	92
§ 30. Generalități	92
§ 31. Măsurători folosite în practică pentru măsurarea fisurilor	93
G. Măsurarea tasărilor	94
§ 32. Generalități	94
§ 33. Măsurători folosite în practică pentru determinarea tasărilor	96
H. Măsurători radiale în galerii	101
§ 34. Dispozitive pentru măsurători radiale în galerii	101
§ 35. Programul măsurătorilor	108

CAPITOLUL III

<i>Măsurători de deformății în interiorul construcțiilor masive</i>	110
A. Măsurarea temperaturii în construcțiile de beton	110
§ 1. Generalități	110
§ 2. Scopul măsurătorilor	111
§ 3. Factorii de care depinde desfășurarea procesului termic în masele de beton	111
§ 4. Principiul de bază al aparatelor de măsură	113
§ 5. Reguli de amplasarea termometrelor în construcțiile de beton	115
§ 6. Măsurarea și calcularea temperaturilor	116
§ 7. Formule practice pentru determinarea temperaturilor și a timpului de întărire a betonului	117
§ 8. Valorificarea rezultatelor	120
§ 9. Schimbările temperaturii în masivul de beton în funcție de temperatura aerului	127
B. Măsurători de deformății și calculul eforturilor din interiorul masivelor de beton	128
§ 10. Generalități	128
§ 11. Principiile generale care au stat la baza construirii telemetrelor	128
§ 12. Determinarea valorilor de calcul necesare pentru valorificarea măsurătorilor	161
§ 13. Calculul deformățiilor și eforturilor interioare	169
C. Măsurarea directă a eforturilor și presiunii terenului	182
§ 14. Generalități	182
§ 15. Aparate bazate pe principiul coardelor vibrante	183
§ 16. Aparate bazate pe principiul pîrghiilor	185
§ 17. Aparate bazate pe principiul rezistenței electrice	185
D. Supersonica	188
§ 18. Generalități	188
§ 19. Dezvoltarea supersoniei în Uniunea Sovietică	189
§ 20. Teoria undelor	189
§ 21. Metode supersonice de cercetare a proprietăților elastice ale betonului	190
§ 22. Exemple de cercetări prin metode supersonice	193

CAPITOLUL IV

<i>Cercetări hidraulice de infiltrație și observații asupra subpresiunilor și conținutului de apă în betonul și fundațiile construcțiilor</i>	198
A. Cercetări hidraulice	198

	Pag.
§ 1. Generalități	198
§ 2. Metodele de măsurare și aparatele folosite	199
B. Măsurarea infiltrațiilor	202
§ 3. Generalități	202
§ 4. Principiul măsurării	202
§ 5. Dispozitivele de măsurare	203
§ 6. Însemnarea măsurătorilor și calculul	203
§ 7. Controlul permeabilității betonului	205
§ 8. Măsurarea infiltrațiilor în construcțiile de pământ	205
§ 9. Programul măsurătorilor	207
C. Măsurarea subpresiunilor	207
§ 10. Generalități	207
§ 11. Metode pentru măsurarea subpresiunilor	210
§ 12. Amplasarea instalațiilor de subpresiuni	213
§ 13. Înregistrarea datelor	215
§ 14. Măsurarea subpresiunilor în construcțiile de pământ	216
D. Măsurarea conținutului de apă în beton	217
§ 15. Generalități	217
§ 16. Aparatele pentru determinarea conținutului de apă în beton	218

CAPITOLUL V

<i>Aplicarea aparatelor de măsură și control diferitelor construcții masive</i>	221
§ 1. Generalități	221
§ 2. Baraje de greutate	222
§ 3. Baraje de anrocamente	225
§ 4. Ecluze	227
§ 5. Galerii și tunele	228
§ 6. Castele de apă	231
§ 7. Conducte forțate	233

CAPITOLUL VI

<i>Studii și cercetări de laborator în construcțiile masive</i>	237
A. Măsurători de deformății și eforturi pe modele	237
§ 1. Generalități	237
§ 2. Scopurile cercetării pe modele	238
§ 3. Alegerea materialului pentru modele	238
§ 4. Similitudinea modelelor cu realitatea	242
§ 5. Aparatele de solicitare	246
§ 6. Aparare și metode de măsurare	250
§ 7. Observații. Măsurători de deformății și deplasări	256
§ 8. Determinarea stării de eforturi și interpretare	259
B. Fotoelasticimetria (metodă optică de cercetare a stării de eforturi pe modele)	260
§ 9. Generalități	260
§ 10. Noțiuni de optică necesare în tehnica fotoelasticimetrică	261
§ 11. Fotoelasticimetre	263
§ 12. Rețelele caracteristice	265
§ 13. Tehnica separării eforturilor unitare principale	268
§ 14. Materiale fotoelastice	268
§ 15. Interpretarea observațiilor pe modele fotoelastice	269
C. Metoda lacurilor indicatoare de tensiuni	274
§ 16. Generalități	274
§ 17. Materiale folosite	274
§ 18. Metode de lucru	275
§ 19. Modul de identificare a rezultatelor	275
<i>Bibliografia</i>	277
<i>Fotografii pentru documentare</i>	281

*Dat la cules 22.05. 1958. Bun de tipar 02.10.1958. Tiraj 1000. Hirtie
semitelina 65/m². Format 16/70 x 100. Coli editoriale 21.8. Coli de
tipar 20 + 1 planşa policromie A 05902/1958.
Indicele de clasificare pentru bibliotecă mari: 624.92.04.
Indicele de clasificare pentru bibliotecă mici: 624.9.04.*

Tiparul executat sub com. nr. 1061 de Întreprinderea poligrafică nr. 3
B-dul 6 Martie, nr. 29, Bucureşti, R.P.R.